

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-021775

(43)Date of publication of application : 26.01.2001

(51)Int.Cl.

G02B 6/42
G02B 6/32
H01L 31/107
H01L 31/108
H01L 33/00
H01S 5/022

(21)Application number : 11-196468

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 09.07.1999

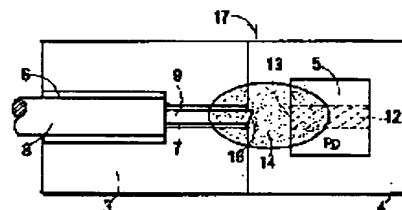
(72)Inventor : KUHARA MIKI
NAKANISHI HIROMI
OKADA TAKESHI

(54) OPTICAL DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To connect an optical fiber/light wave guide passage with optical parts without causing reflection return light by forming an end face of the optical fiber/light wave guide passage into a specific inclined face and filling light penetrating resin having refractive index close to that of the optical fiber between the optical parts and the end face.

SOLUTION: An Si bench has two steps, and large and small V grooves 6, 7 are provided at an upper step by anisotropic etching. A ferrule 8 and an optical fiber 9 are fixed here. The ferrule 8 supports the optical fiber 9 on the same axis and can be attached to and detached from an external mechanism. An end face 16 of the optical fiber 9 is an inclined face. A wave guide passage mold PD5 is fixed at a lower step 4. The end face 16 of the optical fiber 9 obtained by cutting it obliquely at angles of 4, 6, 8 degrees is fixed on the V grooves 6, 7 of the Si bench to cover it with light penetrating resin 14. That is, the end face 16 cut obliquely is surrounded by the light penetrating resin 14 having refractive index close to that of the optical fiber.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 30.08.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 05.06.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USP10,

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-21775

(P2001-21775A)

(43) 公開日 平成13年1月26日 (2001.1.26)

| (5) InCl ⁺ | 識別記号 | PI | チーフド (参考) |
|-----------------------|--------|------|-----------|
| G02B | 6/42 | G02B | 6/42 |
| | 6/32 | | 2H037 |
| | | | 5F041 |
| H01L | 31/107 | H01L | 33/00 |
| | 31/108 | | M 5F049 |
| | 33/00 | | B 5F073 |
| | | | C |

審査請求 有 請求項の数15 O L (全 38 頁) 最終頁に続く

| | | | |
|-----------|----------------------|----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願平11-196488 | (71) 出願人 | 00002130 住友電気工業株式会社 |
| (22) 出願日 | 平成11年7月9日 (1999.7.9) | (72) 発明者 | 工原 英樹 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 |
| | | (73) 発明者 | 友電気工業株式会社大阪製作所内 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号住 |
| | | (74) 代理人 | 中西 裕英 友電気工業株式会社大阪製作所内 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号住 |
| | | | 友電気工業株式会社大阪製作所内 100079887 弁理士 川瀬 茂樹 |

最終頁に続く

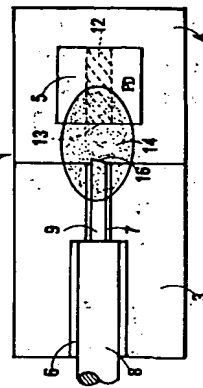
(54) 発明の名称 光学装置

(57) 要約

【目的】 パッシブアライメントによって、光ファイバ・光導波路と、PD・LDなど光学部品とを反射鏡り光がないように結合する。

【構成】 光ファイバ・導波路端面を2' ~ 10' の傾斜面とし、光ファイバ・導波路と光学部品との間をファイバ屈折率と近似した屈折率をもつ透光性樹脂によって満たす。

実施例1, 2



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光軸を有する第1の光学部品と、第1光学部品との間で光を透過する第2の光学部品とを含む、第1の光学部品の光入射端面が光軸直交面に対して傾斜角αで傾斜しており、第1光学部品の傾斜端面と第2光学部品の光入射端面の空間が第1光学部品の屈折率に近い屈折率を持つ透光性樹脂によって覆われていることを特徴とする光学装置。

【請求項2】 第1の光学部品と第2の光学部品の間に、1以上の他の光学部品を含むことを特徴とする請求項1に記載の光学装置。

【請求項3】 第1の光学部品が光ファイバか光導波路である事を特徴とする請求項1又は2に記載の光学装置。

【請求項4】 第2の光学部品が、受光素子（導波路型、上面入射型、裏面入射型、端面入射型）であることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の光学装置。

【請求項5】 第1の光学部品が2度から8度に斜めカットされたSiO₂系の光ファイバであり、第2の光学部品がSi、Ge、GaAs、InP、InGaAs、InGaAsPのいずれかの半導体からなるPIN-PPD若しくはAPDよりなることを特徴とする請求項4に記載の光学装置。

【請求項6】 第1の光学部品が2度から8度に斜めカットされたSiO₂系の光導波路であり、第2の光学部品がSi、Ge、GaAs、InP、InGaAs、InGaAsPのいずれかの半導体からなるPIN-PPD若しくはAPDよりなることを特徴とする請求項4に記載の光学装置。

【請求項7】 第2の光学部品が発光素子（LED若しくはLD（面発光、端面発光を含む））であることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の光学装置。

【請求項8】 第1の光学部品が2度から8度に斜めカットされたSiO₂系の光ファイバであり、第2の光学部品がGaAs、InP、InGaAs、InGaAsPのいずれかの半導体からなるLED若しくはLDよりなることを特徴とする請求項7に記載の光学装置。

【請求項9】 第1の光学部品が2度から8度に斜めカットされたSiO₂系の光導波路であり、第2の光学部品がGaAs、InP、InGaAs、InGaAsPのいずれかの半導体からなるLED若しくはLDよりなることを特徴とする請求項7に記載の光学装置。

【請求項10】 第1の光学部品と第2の光学部品との間に集光レンズを有することを特徴とする請求項1～9のいずれかに記載の光学装置。

【請求項11】 第2の光学部品が光分波器、ビームスプリッタ、光合波器、光フィルタ、レンズ、セルフォックレンズの何れか、またはこれらの組み合わせによりなる事を特徴とする請求項1～2の何れかに記載の光学装置。

【請求項12】 光学系がSiベンチの上に構成されたものであることを特徴とする請求項1～11の何れかに記載の光学装置。

【請求項13】 光学部品や光学系がSiO₂系の平面導波路によって構成された部分を含む事を特徴とする請求項1～12の何れかに記載の光学装置。

【請求項14】 透光性樹脂がシリコーン系、アクリレート系若しくはエポキシ系であることを特徴とする請求項1～13の何れかに記載の光学装置。

【請求項15】 第2の光学部品の入射端面が光軸より傾いていることを特徴とする請求項1～14の何れかに記載の光学装置。

【請求項16】 第1の光学部品が、外部の機構と着脱可能な2度～8度の傾斜端面のファイバを有するフェルネルであって、Siベンチもしくはセラミック板のV溝に固定されており、第2の光学部品がLDあるいはLEDのいずれかの発光素子であってSiベンチもしくはセラミック板上に形成されたマウント部に固定され、第1光学部品と第2光学部品の間の光路がシリコーン系またはアクリレート系の透光性樹脂によって充たされ、さらにその上を非透光性の樹脂によって覆ったことを特徴とする請求項1に記載の光学装置。

【請求項17】 第1の光学部品が、外部の機構と着脱可能な2度～8度の傾斜端面のファイバを有するフェルネルであって、Siベンチもしくはセラミック板のV溝に固定されており、第2の光学部品がPD、APDあるいはAMP付きPDのいずれかの受光素子であってSiベンチもしくはセラミック板上に形成されたマウント部に固定され、第1光学部品と第2光学部品の間の光路がシリコーン系またはアクリレート系の透光性樹脂によって充たされ、さらにその上を非透光性の樹脂によって覆ったことを特徴とする請求項1に記載の光学装置。

【請求項18】 第1の光学部品が、外部の機構と着脱可能な2度～8度の傾斜端面のファイバを有するフェルネルであって、Siベンチもしくはセラミック板のV溝に固定されており、第2の光学部品がPD、APDあるいはAMP付きPDのいずれかの受光素子であってSiベンチもしくはセラミック板上に形成されたマウント部に固定され、第1光学部品と第2光学部品の間の光路がシリコーン系またはアクリレート系の透光性樹脂によって充たされ、さらにその上を非透光性の樹脂によって覆ったことを特徴とする請求項1に記載の光学装置。

【請求項19】 第1の光学部品が複数の光ファイバあるいは複数の光導波路よりなり、第2の光学部品がそれらの光ファイバあるいは光導波路に対向して設けられる複数の受光素子あるいは発光素子よりなる事を特徴とする請求項1に記載の光学装置。

【発明の詳細な説明】
[0001]

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信に用いる送信器、受光器、送受信器、これらを構成するための光学部品、或いはこれらを組み合わせた光学装置に関する。特に反射隔壁量(ORL)を著しく低減できる構造の光学部品に関する。

【0002】

【従来の技術】光通信の実用化が進むにつれて、光送信器、光受信器などの小型化、低コスト化が進みつつある。最近では表面実装型という非常に小型の光学系が研究開発されている。例えば、

①西川達、簡素雄一、真門元二、宇野智昭、松井肇「Si基板を用いた表面実装型LEDモジュール」1997年電子情報通信学会総合大会C-3-63、P248
②佐々木純一、伊藤正隆、山崎裕幸、山口昌幸「バンプフライエ高効率光結合ガットサイズ変換LED Siベンプ」1997年電子情報通信学会総合大会C-3-65、P250
③平井あゆ美、加来良二、前沢卓也、高山清、原田正「光モジュール用シリコンV溝基板」1997年電子情報通信学会総合大会C-3-66、P251などに提案がなされている。

【0003】受光モジュールの従来例を図1、図2に示す。この受光モジュール1は、2段になったSiベンプ2の上段に光フレイバを、下段4に受光部であるPD5を設けたものである。このPDは導波路型であって受光面が導波路型受光部12になっている。側面から入った光を導波路型受光部12によって感受する。Siベンプ2にはV溝6、7が側方性エッチングによって形成される。フェルルー8と光フレイバ9がV溝6、7に囲まれる。フェルルー8は外部の光遮蔽子と着脱できるようにしている。光フレイバ9の端面10は光軸に直交である。端面10から出た出射光11は空間を通りPD5の導波路型受光部12に入り検知される。光フレイバもPDも同一の基板表面上に取り付けられるので小型になる。隣接面所がないので製造容易である。レンズがないのでコストを下げられる。だから小型受光の受光モジュールとなりうる。

【0004】図1、図2の従来例では、Siベンプ2の上に光学部品(PD5、フェルルー8、光フレイバ9)を配置し、レンズは使わずに、直接光フレイバと受光部子(以下PDという)を突き合わせている。これによつ

て、ORL=10log(P₁/P₁)
【0009】logは常用対数を示す。P₁はフレイバを通し、出射端面に向かって来る光強度である。P₁は端面で反射してフレイバ内を戻って行く光強度である。単位はdBである。かならずP₁<P₁であるから、ORLは負の値となる。レーザに及ぼす影響を示す

R₁=1/(n₁-n₀)/n₁+n₀ (2)
【0012】である。図1、2のように、屈折率n₁=1.46のSiO₂系の光フレイバの場合、空気(n₀

で部品点数を減らすとともに小型化している。ここでは、光フレイバ9を記載しているが、代わり光導波路でも良い。受光部子として導波路型PDを記載しているが、光学系によって上面入射型、裏面入射型PDが用いられる。

【0005】Siベンプ上にエッチングによってV溝を形成し、またエッチ合わせでPDチップを固定する位置合わせマークを形成する。V溝やマークにより光フレイバもPDも位置精度良く固定される。このように固定しないですでに定めた位置に部品を配置することをバンプフライエメントという。つまり図1、図2の表面実装型モジュールはバンプフライエメントが可能となり実装コストも下がる。部品コスト、実装コストを下げた反面に製造できるという長所がある。フレイバ側は光軸と直角で不可欠であるが、これはバンプフライエメントを可能にするため真っ直ぐ入らす構造しなければならなくなる。バンプフライエメントのためにフレイバ端面光軸直角というのはフレイバに要求される、と考えられる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図1、図2の従来例の構成ではフレイバ端面の反射が問題になる。フレイバ端面10は光の進行方向(光軸方向)と直交する面であったりしている。図にはあらわれないが、光フレイバの端面には光線としてのLED(半導体レーザ)がつけられている。フレイバ端面は光軸に直交するから端面での反射光がフレイバ内を反対向きに伝搬してレーザに戻り、レーザ発振を不安定化させる。レーザは端面の反射鏡を共振器とするが、反射光が戻ると共振器が二つ存在することになり共振周波数が変動する。光周波数安定であるためには反射戻り光を極めて小さく抑える必要がある。PDの受光面は反射防止膜が形成されるので反射は全く問題にならない。フレイバ端面は反射防止膜を付けないので反射が深刻な問題を引き起こす。本発明ではフレイバ端面で反射しレーザに戻る光を問題にする。

【0007】フレイバの端面で反射し戻ってゆく光を反射戻り光とし、入力光と反射戻り光のパワー(電力)の比を反射隔壁量と呼ぶORLによって表現する。

【0008】

(dB) (1)
値であり、これは小さい方がよい。
【0010】屈折率n₁の媒質から、屈折率n₀の媒質に直角に入るとき界面での反射率R₁は、
【0011】

=1.00)に放射する時は、ORL=-14.6dBとなる。かなり大きな値である。つまり反射光が十分に強いということである。光フレイバと空気では屈折率かなり相違するので、このような大きなORLの値となる。

【0013】どの程度の小さいORLの値が要求されるのか?ということを送る。用途や規格はシステムによって様々である。それによって要求されるORLの値も異なる。高度なものほど小さいORLが要求される。光受光器の場合は-27dB以下でなければならぬ。製造のバンプジョムも含めると-30dB以下という極めて小さい値がORLに要求される。レーザは極めて微細の反射戻り光によっても動作が擾乱を受けるからである。

【0014】さらに光CATVのような多チャネルのフレイバ信号を伝送する場合は、-40dB以下という低い値が要求される。それもある程度で満足すればよいのでなく、-40℃～+85℃の広い温度範囲の全体でORLが-40dB以下でなければならないのである。

【0015】

図1、図2の構成(空気と接するのでORL=-14.6dB)ではこの要求を満たすことができない。図1、図2のように反射戻り光の大きなものは用いられない。信号レベルが低くチャネル数が少ないデジタル信号に限られる。だから図1、図2のものよりORLをさらに減らす必要がなされた。

【0016】端面での反射損失を減らすために、図3、図4のように光フレイバ9とPD5の間の空間を光フレイバ9に近接した屈折率の透明性の樹脂14によって満たす(バンプフライエメント)ことが提案される。例えば、

⑩吉井利昭、江口州志、吉田幸司、加藤雄、植田和之、石川忠明、「トランスプラマエーモル方式によるP181a11型光モジュールの製作」1997年電子情報通信学会総合大会C-3-62、P247
⑪吉田幸司、加藤雄、平高敏則、結城文夫、立野公男、三浦敏雄「樹脂封止型LEDモジュールの光結合特性」1997年電子情報通信学会総合大会C-3-68、P253

⑫長谷川和義、久保田雅之、特許第2792722号「半導体発光装置」
などに記載がある。式(2)のように、屈折率の差(n₁-n₀)によって反射が生ずるので、屈折率差(n₁-n₀)を減らせば反射が減少する。電子部品のバンプジョム樹脂としてシリコン系やアクリレート系の樹脂が良く用いられる。バンプジョム樹脂の条件は、屈折率が光フレイバに近いことと透明性である。これらの樹脂は可視光に対して透明である。それだけでなく光通信で良く用いられる1.3μm、1.55μmなどの波長の光に対しても透明である。

【0017】これら透光性樹脂は、屈折率が光フレイバの屈折率(1.46)に接近している。例えばシリコン系透光樹脂は、室温でn=1.4程度である。アクリレート系透光樹脂は室温でn=1.5程度である。従って、室温の場合だけを考えると、アクリレート系樹脂も、シリコン系樹脂もORLが-30dB以下だという条件を満たすことができる。図3、図4もバンプフライエメント(固定しない)で製造されるからフレイバ端面は光軸直交である。

【0018】何れも材料も屈折率に温度依存性がある。現存する材料は上記の広い範囲(-40℃～+85℃)において条件を満たすことができない。図5は、アクリレート系樹脂(○)、シリコン系樹脂(●)の一例のORLの温度による変化を示すグラフである。横軸は温度(℃)、縦軸はORL(dB)である。アクリレート系、シリコン系といっていくつもの種類の樹脂がある。図5に示すのは一例である。アクリレート系では低温でORLが大きくなる。シリコン系では高温でORLが大きくなる。だから両方とも安定して-30dB以下という条件を満たすことは難しい、まして-40dB以下を満たすことはできない。

【0019】このように温度によってORLが変化するので、温度によって屈折率が変化するからである。図5で温度変化の傾向が相反するのは屈折率変化が相反するからではない。何れの樹脂でも温度上昇によって屈折率は低下する。シリコン系の場合、-40℃～+85℃で、1.48から1.37まで屈折率が変化する。アクリレート系樹脂の場合、1.56から1.49まで屈折率が変化する。フレイバ屈折率が1.46であるから、シリコン系は温度上昇とともに、屈折率が1.46から離れる傾向にあり、これがORLを上昇させる。アクリレート系では、温度上昇とともに屈折率が1.49に接近するので、ORLが減少するのである。このように光フレイバ(石英)とはほぼ同じ屈折率をもつ樹脂は存在するが、必ず温度変化がありORLが温度によって変わる。光フレイバの場合だけを説明したが、光導波路の場合でも同じような問題がある。Si系光導波路の場合も反射戻り光が光線のレーザに入ると共振が乱れて光学的な振動動作する。

【0020】図1、図2のような表面実装型の光学部品においては反射光を防ぐ手段として提案されたものは屈折率の近似した透光性樹脂を光フレイバ端面に接合する(図3、図4)だけである。透光性樹脂は反射自体を減衰させるが温度変化による影響もあり完全でない。全温度範囲(-40℃～+85℃)で-30dB以下という条件はかろうじて満たしても、さらに全温度範囲で-40dB以下というような特異的な要求には応えることができない。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明は、光フレイバ、光導波路と、その他の光学部品を含む光学装置において、フレイバ端面或いは光導波路面を斜めに切削し、

端面近傍を光ファイバ屈折率の近似した透光性樹脂（ポリアクリル樹脂）によって覆う。光ファイバ、導波路はいずれも光軸を定義できる。光軸に対して直角でなく直角度より α に傾斜角を持った端面を作る。さらに端面を透光性樹脂で被覆する。

【0022】つまり斜め切断と側面被覆という2重の手段によって反射戻り光を防ぐようにしたことにより本発明の特徴がある。光ファイバ端面、光導波路端面の切断角は2度〜10度程度である。より好ましくは2度〜8度である。光ファイバ・光導波路端面を斜めにカットすると端面での反射光が最も伝播光とならず光頭へ戻らない。屈折率の近似する透光性樹脂によって端面を覆うと反射そのものが減少する。両者が相まって反射戻り光を著しく抑制することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】本発明は各種光学装置に応用することができる。のちに色々な例を説明するが、理解を速めるため典型的な一例を示し本発明の特徴を詳しく述べる。図6、図7に本発明の光学装置の一例（光ファイバ+導波路型PD）の概略を示す。S1ベンチ2を2段階にし、上段3に大小のV溝6、7を異方性エッチングによって設ける。ここにフェルネル8と光ファイバ9とを固定する。フェルネル8は光ファイバ9を同軸支持し外部機構と着脱可能にしたものである。光ファイバ9の端面16が傾斜面になっている。下段4に導波路型PD5を固定する。これはマークによって定位位置に固定する。光ファイバの端面を4度、6度、8度といった角度（ α ）に斜めカットしたものをS1ベンチのV溝に固定し、ポツティング樹脂14によって覆う。光ファイバの先端だけを残すのも良い。しかしより好ましくは、ファイバ先端からPD受光面までを覆うようにする。

【0024】本発明は、透光性樹脂被覆に加えてファイバ端（光導波路端）を斜めに切断するところに眼目がある。表面実装において光ファイバ先端斜め切断というものはこれまで行われた事はない。燃案された事もない。しかし、最も斜度分野ではそれはありふれたことであつた。ファイバ先端を斜めカットすることは、通常の立体的な光モジュールでは反射戻り光を防ぐために良く用いられる技術である。図8に金属カンパッケージに収容された立体内構造の受光素子の従来例を示す。

【0025】円形のステアム2.0の中心にサブマウント21を固定し、サブマウント2.1の上に上面入射型PD22を固定する。リードピン31、33とサブマウント、PDの電極とリードピン31、33をワイヤボンディングによって接続し、レンズ24を有するキャップ23をかぶせる。さらに円筒形のスリーブ25をキャップ23の上からステアム2.0に取り付け、光ファイバ27の先端を支持するフェルネル26をスリーブ25の軸孔28に差し込む。光ファイバ・フェルネルの先端は斜め切断面30となっている。スリーブ25の上にはペンドリミ

ット29があり、光ファイバの端面の曲がりを防ぐ。光ファイバ端面が斜めであるから光ファイバからの出射光は図8で左へ屈折する。光ファイバ直下にビームが到達するのでない。そこでスリーブをステアム上で二次元的に動かしながらPD出力を傾斜し最大パワーになる点を探索してスリーブをステアムに対して固定する。これが傾方向の調整になる。さらにフェルネル26を軸方向に動かし、最大光量になる点を探索軸方向の調整が必要である。このように斜めカットファイバを有するものは調整が必要の工程になる。調整は時間がかかる難しい作業である。

【0026】これは同軸型受光素子とも呼ばれる。光軸をほぼ中心として同心円状のものや同心円筒の部材からなっている。受光素子（PD）チップと光軸が直交する三次元的な構造で高面構造である。これは光ファイバの先端を例えば8度に斜めカットしてある。これはファイバ端面での反射光がレーザ（光源）に届かない為の工夫である。出射光は斜面の方に曲がるので、この図では左にそれる。だからレンズやPDチップはファイバ軸心の延長上になり、ファイバ軸心とステアム面の交点より左側にPDは設けられている。この様な立体構造の場合、PDチップを付けてから、キャップの位置とスリーブの位置は二次元的に調整する。そのような調整作業があるから斜めカットファイバを用いることができるのである。調整（アライメント）によってPDに最大のパワーが入射するようにファイバの位置を決める。だから低いORLで高い感度が得られる。これはキャップ、スリーブ、フェルネルなどをPDの受光量を見ながら三次元的に調整するでアクティブアライメントという。時間のかかる調整があるから斜めカットといってもいい。かかる調整がないので斜めカットといってもいい。

【0027】そのような調整調整に手間の掛かる受光素子はコスト高になる。安価なシステムを構築することの妨げになる。やはり図1〜図4のような単純で安価な平面実装型が望ましい。図1〜図4のような表面実装型の場合調整という作業がない。調整がないのでパッシブライメントという。光ファイバ光軸からPDの軸をずらすということはない。それで斜めカットという工夫が入る余地はない。と考えられた。表面（平面）実装で、PDの中心と光ファイバ中心は初めから合致するように入作られた。斜めカットするとビームが斜めになるから表面実装型光学部品のPD中心には入らないと考えられる。そのような平面実装型が平面（表面実装）型の場合の斜めカットの採用を断じて禁止して来たのである。【0028】しかし、本発明者はそうでないと思う。調整できない平面実装でも斜めカットは極めて有効である。透光性樹脂を併用する限り平面型でも斜め切断は有効なのである。その理由を述べる。

【0029】角度 α の影響について図9を用いて説明する。光ファイバの屈折率を n_1 、外部媒質の屈折率を

n_2 とすると、光ファイバの光軸をKMNとすると、出射面16の中心点が傾いている。出射面が光軸直交面ではなく、それより α だけ傾いている。DMC= α である。点Mにおいて面16に立てた法線をMFとすると、これが光軸MNとなす角度は α である。光ファイバの伝播光KMは屈折しMGとなり出射光になる。端面反射光はMRである。これが反射戻り光と書かれるもので重要である。屈折は法線であるが反射は単純である。反射戻り光の軸線に対する傾き角は法線に2 α である。ZKMR=2 α 。

【0030】屈折光の方はより複雑である。法線MFとMGのなす角度を β とする。光線MGと光軸MNの角度を θ とする。 θ は光軸の光軸からのずれの角である。 $\beta = \theta + \alpha$ である。スネルの法則から、

$$\text{【0031】} \quad n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (3)$$

であるから、

$$\text{【0032】} \quad \beta = \sin^{-1} (n_1 \sin \alpha / n_2) \quad (4)$$

$$\text{【0033】} \quad \theta = \sin^{-1} (n_1 \sin \alpha / n_2) - \alpha \quad (5)$$

【0034】となる。 θ は出射光MGのファイバ光軸MNからのズレ角である。もし $n_1 = n_2$ なら、ズレ角は0である。ズレ角は、媒質屈折率 n_2 がファイバ屈折率 n_1 に近いほど小さく、反対に媒質屈折率 n_2 がファイバ屈折率 n_1 に遠いほどズレ角 θ は大きくなる。

【0035】反射光の角度は単純（ZKMR=2 α ）であるが、これが原るかどうかということはコア・クラッドの屈折率による。コア屈折率を n_1 、クラッド屈折率を n_2 とすると、 $n_1 > n_2$ であるから全反射角 φ が定義でき、傾斜となす角度が φ 以下ならそのビームはコアからクラッドへ進入できず、軸線となす角度が φ 以上ならコアからクラッドへビームが進入できるといいう角度が全反射角 φ である。

$$\text{【0036】} \quad \cos \varphi = n_2 / n_1 \quad (6)$$

【0037】コアとクラッドの屈折率は極めて近いから φ は小さい角である。シングルモードファイバの場合はこれが極端に小さい。2 $\alpha < \varphi$ なら反射光は全反射して戻り光となる。しかし2 $\alpha > \varphi$ なら反射光は全反射できず外部に漏れる。これを放射モードと呼ぶ。幾何光学的になんともいえない状態に接続であるが、実際にはビームの形状などもあり厳密には波動光学的に取り扱う必要がある。しかし反射光が戻り光になるかどうかというのは、単純に2 α と φ の大小だけで判断することができる。ファイバ端に少し傾斜を付けるだけで、2 $\alpha > \varphi$ とでき、こうすることによって反射戻り光を削減させることができる。つまり α の下限は $\varphi/2 = \cos^{-1} (n_2/n_1) / 2$ という単純な式になる。

【0038】ここでは α の下限は2度としているが、シングルモードファイバの場合、 $\varphi/2$ は2度より低いので、2度以上の α は戻り光を除去できる。反射の面は単

純であるだけに、屈折の面の影に隠れてしまいがちである。つい省略してしまうが、それはいけない。ここでは反射光が戻り光になるかどうかの条件を簡単に説明した。本発明は第1に反射戻り光を問題にするからである。

【0039】例えば、光ファイバ（ $n_1 = 1.46$ ）から光が空気（ $n_2 = 1.00$ ）に対して出射される場合は4度カット（ $\alpha = 4^\circ$ ）の場合光軸より1.85度の（ θ ）ずれ、従って仮に光ファイバ端面とPDの受光面の間隔Lが例えば500 μm に過ぎないとしても、PDの受光面では光線は16 μm もずれる。ズレが大きすぎてPDの受光面に入らない。導波路型PDは通常2 μm 〜5 μm 程度の細の導波路を持つ。そのようなPDでは1dB感度が劣化するズレのトレランスは数 μm の程度である。16 μm もずれるのではPDで受光できない。ファイバの接する媒質が空気の場合パッシブアライメントはできない。500 μm でも短い距離であるが、それ以下にすればPD入射量を増やすことができる。1dB劣化が数 μm のズレに対応するのであるから光軸からのずれを3.2 μm に抑えるため、PD・ファイバの距離をL=100 μm に縮めるということも考えられよう。PD・ファイバ間をこのような短距離にするのは製作上難しい光ファイバの回転によってPD入射量が変動して望ましくない。もしも端面の傾斜角が8度（ $\alpha = 8^\circ$ ）とすると出射光の角度 θ は $\theta = 3.72$ 度にもなる。L=100 μm としてもPD面でのスポットのズレは6.5 μm にもなる。PDに光が入らなくなる。つまりパッシブアライメントが困難になり工業的生産が難しい。

【0040】一方、もし光ファイバとPDの間の光路が、例えば $n=1.40$ のポツティング樹脂によって満たされたとしても（2）から反射が著しく少なくなる。反射が減るから戻り光は減るはずである。更に重要な事は反射光が光軸となす角度が2 α であり、これがコア・クラッド境界角 φ を越えるので反射光がファイバ中の伝播光とならない、ということである。放射モードになり伝播モードにならない。伝播光でないからファイバ中を伝播できない。二つの理由で戻り光が著しく減少する。戻り光が殆ど0となる。戻り光がないので光線であるレーザの発振不安定を引き起こさない。これは優れた特徴である。また反射が少ないだけでなく、屈折光（出射光）MGのファイバ光軸MNからのズレ θ が非常に小さくなる。これも著しい特徴となる。つまり n_1 が n_2 に近い媒質でファイバ端を覆うと3つの利点がある。反射光減少、反射光放射モード化、屈折光軸ズレ減少という3つの利点である。前二者は反射戻り光を0とし、レーザ発振を安定化させ、後一者はパッシブアライメントを可能にする。輝かしい利点である。

【0041】例えば4度斜めカットで、屈折率MGはファイバ光軸MNから $\theta = 0.17$ 度しかずれない。仮に光ファイバ・PD間距離LがL=500 μm としても、

P D端面でのスポットサイズは1.5 μm に過ぎない。これは1 dBトランスより小さい。仮に短く $L=1.00 \mu\text{m}$ とすれば、それは0.3 μm しかない。パッシブアライメントが充分可能である。調整せずパッシブアライメントしたP Dに充分な光が入射する。それだけでなくP Dに入射した光は殆ど損失無く導かれる。 $L=3.00 \mu\text{m}$ 程度なら、スポットの光軸からのずれは1.9 μm に留まり、パッシブアライメントが可能な範囲に入る。

[0042] 以上は、導波路型P Dの一例である。例えば矩形の受光面を持った上面入射型P Dや裏面入射型P Dで光軸からのズレに対するトランスはもう少し広い。しかし光学系の構成として、光ファイバ端面とP D受光面との距離が長くなるので、最終的には上記と同じ効果を得る。

[0043] 本発明のもう一つの効果は、透光性樹脂のポテンシャルにより、より低い斜めカット角度で、従来の空気に対する場合と同程度のレベルのORLが得られるということである。反射量すなわちORLは、斜めカットされた端面で光ファイバに結合される効率を計算することによって求められる。図10に計算結果を示す。傾斜は斜めカット角である。縦軸はORL (反射減衰量: dB) である。光ファイバ屈折率は $n_1=1.46$ とする。パラメータとして光ファイバ端面を囲む媒質(樹脂、空気)の屈折率をとっている。既知屈折率 n_2 は1.00、1.37、1.40、1.56、1.50としている。1.00は空気であるが、それ以外の屈折率は樹脂のものである。4種類の樹脂について考慮しているというのではなく前記の例の2種類の樹脂の屈折率によって変化する屈折率について考えている。光ファイバ端面が空気に接している場合ORLが最も大きい。 $n=1.56$ の媒質に接する場合、角度が0度でも-2.9 dBである。角度が増えるに従ってORLは減少する。傾斜角度が増えると光ファイバ内部への反射が増えるからである。これはどの屈折率 n でも共通にいえることである。 $n=1.37$ の場合がこれに次ぎ、ファイバ端面角0度で-3.1 dBである。さらに $n=1.40$ ではもっとと低く0.0度で-3.4 dB程度である。 $n=1.50$ で最も低い0度で-3.7 dB程度になる。光ファイバ屈折率 $n=1.46$ に近い順にORLは低くなるからこれも当然である。図3、図4の従来例では、ポテンシャルだけを使って反射光を減衰させていたが、それは図10の $\alpha=0$ の場合にすぎない。本発明はそうでなく、 $\alpha=2\sim10$ 度の範囲とする。例えば $\alpha=4$ 度とすると、0度の時に比べて1.5 dB程度ORLが落ちている。極めて顕著な効果である。

[0044] $n=1.00$ (空気) の時ORL ≤ -3.0 dBを得るためには、 $\alpha=4$ 度の端面傾斜を必要とする。ORL ≤ -4.0 dBとするためには、6度程度の傾

角を要求する。しかるに本発明のように透光性樹脂をポテンシャルした場合、傾斜角への要求は著しく緩和される。 $n=1.37$ から $n=1.56$ の範囲において(図5の2種類の樹脂に対して)、-4.0℃ \sim +8.5℃の全温度範囲において、 $\alpha=2$ 度の端面カットでORL ≤ -3.0 dBを満たすことができる。 $\alpha=4$ 度のカットでORL ≤ -4.0 dBを満たすことができる。

[0045] これは、 $n=1.00$ の時のORL値に対して、屈折率差が小さくなった分だけ、端面反射が下がったことによる。例えば $n=1.00$ (空気) に対する反射率は3.5%である。 $n=1.56$ の樹脂に対する反射率は0.11%にすぎない。反射率の比は-1.5 dBにもなる。透光性樹脂で覆うとこの反射率比(-1.5 dB)だけ、ORLが低下する。これによってORL ≤ -4.0 dBという要求を満たす α を小さくできるのである。樹脂は反射を減らすことによって戻り光を減少させる。反射が減る分だけP Dへの入射光も増える。この場合入射光は3.5%も増大する。結合効率を上げる効果もある、という事である。

[0046] 図10の計算結果を確かめるため、 $\alpha=2, 4, 6$ 度の傾斜角で端面カットした光ファイバを使って実験をした。樹脂のないとき($n=1.00$)、樹脂がある時とを、図10の計算結果とはほぼ同じ実験結果が得られた。

[0047] 本発明は、斜めカットされた光ファイバ(導波路)の先端を透光性樹脂により覆うことによって、端面のORLを大幅に減少させ、光ファイバ光軸からの出射光のずれを大幅に小さくできる。低ORL、高結合効率で、パッシブアライメント実装ができる。低価格、高性能の光学装置を提供することができる。出射光の角度ずれが充分に小さいので、光ファイバをSipenチなど固定する場合カットの方向を特に意識する必要はない。斜めカットの面がどの方向を向いていても差し支えない。だからファイバ回線方向の調整が不要である。これも実装の手間を減らすうえで効果がある。

[0048] 本発明は、一般に光学部品と光ファイバ・導波路の結合に適用することができる。だから光ファイバ(導波路)と組み合わせるのは、P Dに限ることなく、発光ダイオード(LED)や半導体レーザ(LD)との組み合わせにも適用できる。光導波路、レンズ、プリズム、ミラーなどの光学部品が、光ファイバと結合される場合にも本発明は有効である。

[0049] 光ファイバから出る光だけでなく、光導波路から出る光にも本発明は同様に適用できる。もちろん、LEDやLDの場合出射光は、光ファイバや導波路に入射する訳であるが、この光がコネクタで反射されて元に戻つてくる場合や、ネットワークで繋がれた他の光源からの光に対するORL低減にも効果を奏する。

[0050] 例えばLDの場合を説明する。図11に示すようにファイバ端面からの反射戻り光3.9があると、

図12に示すように、駆動電流と光出力の間の関係に乱れが生じたり、図13のように発光波長スペクトルが2つに分かれるなどの不具合が発生する。

[0051] 従ってLDの場合も図15のように光ファイバ端を斜めカットすることによって、LD自身への戻り光を低く抑ええるという方式が一般に取られる。

[0052] 光ファイバ端面が斜めでないも、透光性樹脂のポテンシャルによって反射戻り光はある程度防ぐことができる。しかし光出力を1 mWレベルまで高めた高出力LDでは、戻り光の絶対値が大きくなり、この近端反射の影響で、1 GHz前後以上の高速動作をおこなうときに振動動作が不安定になる。ためにノイズが増大するとか、送信波形が歪むとか、長距離伝送ができないといったような問題が生ずる。特に、発光波長の範囲が高く、高速・長距離伝送に使用されるDFBレーザではこの戻り光の低減が重要である。

[0053] 従って、本発明では図15のように透光性樹脂のポテンシャルにより斜めカットされた光ファイバ端でのLDの戻り光の反射率を下げる効果を得る。も

[0058] 反射角 2α

[0059] 媒質をどのように変えても反射率は変わらず 2α なのである。2 α が全反射角 Ψ 以上なら(2 $\alpha > \Psi$) 反射光は戻り光にならない。それは媒質が何であつても言えることである。だからファイバ端面を傾けると戻り光を抑止できる。

[0060] ところが屈折は違うので、媒質によって屈折角 θ が異なるしてしまう。媒質屈折率がファイバ屈折率に近いと屈折角 θ が殆ど0になる。例えば α がどのようなのでもあつても、 θ は0に近い、 θ が0に近いとP Dの場合はP Dに入射するし、LDの場合はファイバ伝播光になる($\theta < \Psi$)。だからパッシブアライメントであつてよいということになる。図8のような傾斜端面のものとは概念が必須であったが、それは媒質が真空($n=1.00$)だからである。媒質をファイバ屈折率に近い屈折率の透光性樹脂にすれば屈折角 θ が0に近くなり概念が不要になる。当業者であれば知識が深いだけに傾斜端面に概念必須という固定概念を打ちぬくことは難しくない。

[0061]

[実施例1] (導波路型P D) 図6、図7に示す構成の受光モジュールを制作した。Sipenチ2の上段3にV溝6、7を穿ち、フェルルム8、光ファイバ9をV溝に固定する。下段4にP D5を取り付け、光ファイバ9とP D5の間には透光性樹脂14を付ける。光ファイバ端面16は斜めカットされる。この受光モジュール17は樹脂でモールドするが、その状態の図示は省略する。

[0062] ここでは、1.3 μm 光に対するシングル

ちろん、光ファイバから来て、端面反射して光ファイバに戻る反射戻り光が抑制されるのはP Dの例で述べたのと同様である。斜め切断ファイバを用いると結合効率的の低下が心配されよう。しかし、それも懸念するほどでない、これは後に述べる。

[0054] では、なぜ今までのような発明がなされなかつたのか?つまり誰もが、斜めカット=光軸からのずれ=調整必須=パッシブアライメント不可能

というような固定概念に捕らわれていたのである。[0055] 本発明者は、このような固定概念を打破して、理論と実験からアイデアを現実化することに成功した。

[0056] 媒は透光性樹脂にある。が、問題の本質は屈折と反射の非対称性にある。媒質屈折率によって屈折角は変わるが、反射角は不変である。屈折はスネルの法則に従うが、反射は単純に反射法則に従う。

[0057]

(7)

モードファイバ(SMF)の先端を2度の傾斜角にカットした。受光素子はInGaAsを受光層とする導波路型P Dである。シリコン系の透光性樹脂を光ファイバP D間にポテンシャルで充填させた。ORL=-3.1 dB \sim -3.5 dBであった。感度は0.8 A/Wであつた。光ファイバ端面が直ちに切断されており同じシリコン系透光性樹脂で被覆されている場合と感度はほとんど同じであつた。

[0063] [実施例2] (導波路型P D) 図6、図7に示す構成の受光モジュールを制作した。1.3 μm 光に対するシングルモードファイバ(SMF)の先端を4度の傾斜角にカットした。受光素子はInGaAsを受光層とする導波路型P Dである。シリコン系の透光性樹脂を光ファイバP D間にポテンシャルで充填させた。ORL=-4.3 dB \sim -5.0 dBであった。感度は0.8 A/Wであつた。光ファイバ端面が直ちに切断されており同じシリコン系透光性樹脂で被覆されている場合と感度はほとんど同じであつた。

[0064] [実施例3] (裏面入射型P D) 本発明は裏面入射型P Dを用いた受光モジュールにも適用できる。図16、図17に一例を示す。S1基版4.5にV溝4.6を両方性エッチングによって形成する。光ファイバ4.7をV溝4.6に入れて固定する。基版4.5の上に裏面入射型のP D4.8を固定する。光ファイバ端面4.9は斜め切断されている。ファイバ端面4.8とP D4.8裏面にいたる空間には透光性樹脂5.0が充填されている。V溝4.6の終端はミラー面5.2となっている。ファイバ端面から出た出射光5.1は、透光性樹脂5.0を通過し、ミラー

面52で上方に反射され(53)、PD48の裏面から侵入し(54)、受光部55にいたる。

[0065]ここでは1.3μm光に対するシングルモードファイバ(SMF)の先端を4度の傾斜角に切断した。受光端子はInGaAsを受光層とする裏面入射型のPDで受光層は100μmである。PDとファイバの間にはシリコン系透光樹脂をボツタリシリコーン硬化させた。ORL=45dB〜50dBであった。

[0066]裏面入射型PDは受光径が小さく取れるので装置のトレランスが広い。±10μm程度もある。それで高感度を得やすい。本発明のように光ファイバが斜めカットされていても受光面の光の位置ズレが殆ど無い。感度は約0.9A/Wと高い。これは光ファイバ端面が直角に切断されており同じシリコーン系透光樹脂でボツティングされている場合の感度とほぼ同じであった。

[0067]【実施例4(上面入射型PD)】本発明はもちろん上面入射型の受光モジュールにも適用することができる。その実施例を図18に示す。S基板56に凹部57を形成する。凹部57のーダの底面は下向きの傾斜面となっている。段部58に斜め切断ファイバ59を束せて固定する。凹部57の底に上面入射型PD60を固定する。凹部の全体を透光性樹脂62によって覆う。光ファイバ59から出た光63は透光性樹脂62を通り、下向き傾斜面61に当たって下向き反射光64となりPD60の受光部65に入射する。ファイバ端面が斜めであるから端面反射光66は光ファイバの伝搬光にならない。効果は実施例3の裏面入射型PDの場合と同じである。

[0068]【実施例5(側面入射型PD)】本発明は側面入射型のPDにも適用できる。図19によって説明する。基板67の上にPD68と光ファイバ71を固定するのであるが、同じ高さに固定できるので基板構造が単純化される。PD68の下半部が斜め傾斜面となっており。光ファイバ端面は斜め切断されている。光ファイバとPDとの間は透光性樹脂72が介在する。光ファイバ71の出射光は透光性樹脂72を通りPD68側面70から内部に入り受光部69に入射する。この場合もファイバ端面での反射光73が端面に対して大きい角度を持つので放射モードの発生が起きない。効果は実施例3の裏面入射型PDの場合と同じである。

[0069]【実施例6(プリズム波長分波器)】本発明の適用範囲は広い。PD、LD以外にもさまざまな光学部品と、光ファイバ、導波路との結合に利用できる。波長分離プリズムへの応用を図20によって説明する。波長分波器74は、三角柱型のプリズムの斜辺面に誘電体多層膜75を積層して貼り合わせたものである。四角柱形状になるが、その3面に光ファイバ76、77、78を対向させたものである。光ファイバの端面79、80、81は端面に対して直角でなく傾斜している。光フ

ィバに屈折率が近似した透光性樹脂82によって波長分離と光ファイバ端面が包囲される。多層膜75が波長選択性をもつ。光ファイバ76からλ₁、λ₂の光をプリズム型波長分波器に入射する。λ₁は多層膜75で反射され、直方向に光ファイバ77へ配分される。λ₂は多層膜75を透過して光ファイバ78に入る。光ファイバ端面が傾斜しているから反射光はもとの軸路を戻す事はできない。例えば光ファイバ76の端面反射光83はすぐに減衰してしまう。

[0070]【実施例7(反射防止膜)】PDその他の光学部品の表面には、光の波長と透光性樹脂の屈折率に対応した反射防止膜を設けておくのがよい。これまでも反射防止膜の事はことさらに書いていないが、PD、光学部品の入力側端面には反射防止膜が設けられている。そのようにすればPD表面や、光学部品表面での反射は微細であるから光損失のレーザに戻らない。光ファイバ端面にも反射防止膜を付けることができるが端面反射光が戻るとい問題も無くなるのである。すると本発明も不要ということになる。しかし光ファイバの端面に反射防止膜を付けるのは確し実用的でない。だから本発明は斜めカットと透光性樹脂によって端面反射を極力抑制しようとするのである。

[0071]【実施例8(光軸傾斜)】PD、LD、光学部品の入射面を光軸に対して斜しく傾けておくのも有効である。図21にその構成を示す。光ファイバ84の端面を斜めに切断し、光学部品85と光ファイバ間に透光性樹脂86を満たす。それに加えて光学部品85と光ファイバの光軸を食い違わせる。ファイバ端面での反射光87は角度が大きいかから伝搬しない。より完全に戻り光の事を除く事ができる。

[0072]【実施例9(光分波器、光結合器)】光学部品が平面導波路型光回路(PLC)技術を利用した光分波器、波長分波器、光結合器などであってもよい。図22にPLC型光分波器に本発明を適用した実施例を示す。平行四辺形のSi基板89の上に、SiO₂、Ge-SiO₂、SiO₂の3層構造をスパッタリングなどによって形成し、Y分岐を渡してエッチング除去する。Y型のSiO₂の導波路90、91、92が形成される。これは二つの波長λ₁、λ₂に対して選択性のある分岐導波路である。基板が平行四辺形であるから導波路の端面は傾斜している。光ファイバ93、94、95を導波路の先端に向けるように設ける。光ファイバの端面96、97、98は斜め研磨してある。光ファイバのファイバにλ₁、λ₂の2波長の光を導入する。分岐によって分離された光ファイバ94にはλ₁、95にはλ₂が選択的に結合する。光ファイバの端面が傾斜しており導波路の端面も傾斜している。だから反射光が光源のレーザに戻るということはない。

[0073]【実施例10(半導体レーザ)】次に半導

体レーザに本発明を適用した場合の実施例を述べる。本発明は光ファイバ又は導波路の端面を斜めカットし、任意の光学部品と対向させ、少なくとも端面を透光性樹脂によって覆ったというところに特徴がある。これまでは受光素子(PD)モジュールへの適用を述べたが、発光素子(LD)モジュールにも適用することができる。

[0074]図23、図24に本発明をレーザ送信器に適用したものを示す。光ファイバ103の端面104が斜めカットしてある。基板105に10μmの光ファイバ103を固定し、LD106を逆さまに取り付ける。端面104とLD106の間には透光性樹脂110が發布してある。発光部104から光ファイバ103に入り伝搬光(出力光)109になる。端面での反射光110が生ずるが、発光部には戻らない。LD106はInP系のMQW-LDである。その寸法は長さ300μm(L)、幅250μm(W)、厚み100μm(t)である。これはInP基板の上にInGaAs系の発光部を設けたものである。発光部幅は1μm、厚みは0.2μmである。LD端面と光ファイバ端面の距離は70μm〜20μm程度に設定する。

[0075]戻り光がないので、駆動電流と出力との関係に乱れが生じたり、発光波長のスペクトルが二つに分かれるなどの不具合が無くくなった。もちろん、外部からの光に対して、光ファイバ端面のものの反射は-40dB以下に押さえられている。

[0076]ただし外部から見た全体のORLは、LDの発光光の光ファイバへの結合効率で決まる。だから、LDの場合は、むしろLDの光が光ファイバ端面で反射して戻ってくるのをほぼ完全に抑制できるといふ点に本発明の効果がある。すなわち、斜め切断により反射光を減へせられ、透光性樹脂によって反射率を減らすという

つまり

$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_s \sin \alpha}{n_1} \right) \quad (1084)$$

[0084]

$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_s \sin \alpha}{n_1} \right) \quad (1085)$$

[0085]

$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_s \sin \alpha}{n_1} \right) \quad (1086)$$

[0086]

$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_s \sin \alpha}{n_1} \right) \quad (1087)$$

[0087]

$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_s \sin \alpha}{n_1} \right) \quad (1088)$$

[0088]

$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_s \sin \alpha}{n_1} \right) \quad (1089)$$

[0089]

$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_s \sin \alpha}{n_1} \right) \quad (1090)$$

[0090]

$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_s \sin \alpha}{n_1} \right) \quad (1091)$$

[0091]

$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_s \sin \alpha}{n_1} \right) \quad (1092)$$

[0092]

$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_s \sin \alpha}{n_1} \right) \quad (1093)$$

[0093]

$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \left(\frac{n_s \sin \alpha}{n_1} \right) \quad (1094)$$

[0094]

二つの作用を相乗的に利用しているのである。

[0077]LDの場合斜めカットと樹脂を併用したものはなかった。どうか?ということも推察すると、樹脂によって反射角が変わってしまい斜めカットの効果が減殺されると思われたのかも知れない。樹脂によって屈折角が減少するから反射角も減速すると類推されたものであろうか?あるいは樹脂によって反射を減らすだけで充分だと考えられたのかもしれない。要求水準が低い場合はそれで良かったのかもしれない。本発明は斜め切断と透光性樹脂を併用して反射戻り光を完全に遮断でき

[0078]反射に4度〜8度も斜めカットすると光ファイバ内で端面に対して大きい角度をなすから放射モードになって伝搬しないのではないかという懸念を持つ向きもあろう。しかし端面傾斜角が光ファイバ中でどの程度でない。

[0079]図25にビームの関係を示す。図9とよく似ているがビームの向きが反射になる。レーザ・ファイバの軸線はKMNである。ファイバ・レーザ距離はLである。ファイバ端面傾斜角はαである。端面に立てた法線はMFである。その反射側の延長線はMEとする。EMFは直線であり軸線KMNとαの角度をなす。レーザ・ビームNMは光ファイバ端面で屈折してMGとなる。屈折光MGと法線MEのなす角度をγとする。屈折光MGと光軸MKの成す角度がθである。

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

$$G \text{ と光軸 } MK \text{ の成す角度が } \theta \text{ である。} \quad (9)$$

となのである。フライバを斜めカットすると当然に反射光が増え、伝搬光が減るから結合効率が減るだろうと直観的には思われる。だからそのような試みはこれまで存在しなかった。

【0090】 手品の値は透光性樹脂にある。透光性樹脂があるで光フライバ端面での反射が殆どない、ために殆ど光がフライバに入ってしまう。ただ入れれば良いというものでない、先述のようにコア・クラッド間の界面で全反射しなければならない。幸いなことに屈折角 θ が極めて小さくて、全反射角 θ より小さい($\theta < \theta_c$)のでフライバ射光が全部伝搬光になるのである。つまり透光性樹脂は反射を減らすことと、屈折角 θ を小さくすることによって結合効率を高めているのである。だから当業者の予想に反し、フライバ端面傾斜があっても、高い結合効率を得ることができる。

【0091】 【実施例11】 (半導体レーザ・光導波路) 【図26、27】 によって半導体レーザと光導波路を結合する送受信モジュールに本発明を適用した実施例11を述べる。Siベンチ112は上段113、下段114に分けられている。下段114には光導波路115が形成される。先端面116は斜めカットされている。Si基板の上SiO₂パッド層、Geを含むSiO₂、SiO₂クラッド層を順にスパッタリングによって堆積させ、中央部の形状部分を剥してエッチングすると伝搬状態の光導波路ができる。これを斜めに切った端面が斜めの導波路を得ることができる。上段113にはLD117を発光部119 (ストライプ) が下向きになるように固定する。導波路115端面116とLD117の間は透光性樹脂118で覆う。LD117からの出射光120の一部は斜めに反射されるが、反射光121は発光部119に戻らない。レーザ発振は安定で周波数安定性も良い。反射は鏡面で殆どが伝搬光122になる。

【0092】 【実施例12】 (面発光型LD、LED) これまで述べたものは端面発光型のLDであった。本発明は面発光型のLD、LEDにも適用することができる。図28によって説明する。基板123の上に面発光型発光素子124を取り付ける。発光素子124は中央に発光部125を有し上方に光を出す。上方は凹部126になっている。発光素子124と直角に光フライバ127が通される。端面130は斜め研磨されている。光フライバ端と発光素子124の面とは透光性樹脂128によって囲まれる。透光性樹脂128は光フライバに近接した屈折率を持つ。発光素子からの光は端面130から光フライバに入り伝搬光129になる。反射光は鏡面であり発光部125に戻らない。特に面発光LDに適用した場合にその効果が顕著である。

【0093】 【実施例13】 (面発光型LD、LED) 【図29】は面発光型発光素子に適用したもう一つの実施例を示す。基板131の上に、面発光型発光素子132を設ける。発光部133は上方に光を出す。凹部134に

は集光レンズ135が固定される。その上方に光フライバ137が設けられる。透光性樹脂136が発光素子132、レンズ135、光フライバ端面138を覆っている。これも反射光を鏡面にし、斜めに反射作用がある。だから反射光は発光部に逆戻りしない、レンズを入れると集光性が高まるのでLEDの場合により効果的である。もともとLEDの場合は反射戻り光は問題にならないので結合効率を高めるという作用が大きい。

【0094】 【実施例14】 (送受信モジュール) 本発明はY分岐を用いた光送受信モジュールにも適用することができる。その場合、斜めカットするのは光フライバと光導波路の両方である。これを図30によって説明する。基板139にはY分岐光導波路140を形成する。先端の場合と同様に、SiO₂、Ge-SiO₂、SiO₂の3層構造をスパッタリングによって形成し、Y分岐を残してエッチング除去する。その後除去した部分をSiO₂によって埋め込んで良いし、そのまま露出させておいても良い。光導波路140は、分岐導波路141、142と、結合導波路143とよりなる。分岐導波路の先に、LD144、PD145が固定される。光フライバ146が基板の結合導波路143に向かうように設けられる。導波路端、LD、PDと、導波路端光フライバを含むように透光性樹脂147、148、149が塗布される。これは光導波路と近接する屈折率をもつ樹脂である。光導波路端150、151は斜め切断されている。光フライバ端152も斜め切断される。3箇所で反射戻り光が抑制されるようになっている。

【0095】 【実施例15】 (PIN-AMP) 本発明は前置増幅器(AMP)を有する受光モジュールにも適用することができる。図31〜図33によってPIN-AMPの実施例を説明する。Siベンチ153の上に数段の構造としてエッチングによって形成する。Siベンチ153の縦方向中心線に太さいV溝154と小さいV溝155を設ける。フェルル156と光フライバ157をV溝154、155に埋め込み固定する。光フライバ先端は斜め切断されている。切断方向がいずれを向くかというのは自由である。フライバの先に裏面入射型PD158が固定される。その背後に前置増幅器(AMP)159を設ける。Siベンチにはメタライズ配線が印刷されたコンプレックスパターンなども取り付けられる。ワイヤボンディングによって素子の電極パッド間が接続される。Siベンチの電極パターンは160に光フライバの位置決めになる。フライバ端とPDチップは透光性樹脂162によって覆われている。その上には固定用のエポキシ樹脂165で覆う。さらに全体をフェルル樹脂164によって被覆しパッキングとする。図33に示すようなガラスチップパッキングの素子となる。フェルルが突出しているが、これは光入力端となる。図32により光フライバ端から出た光はV溝のミラ

一面で上方に反射されPDの裏面から入射し受光部になっている。

【0096】 【実施例16】 (複数光フライバ・複数PD・AMP) 本発明は複数の光フライバ・PDを組み合わせた結合型受光モジュールにも適用できる。図37にこれを示す。基板167は、平坦な複数のV溝168〜170をもつ。ここに光フライバ171〜173が固定される。その先端部に裏面入射型PD174〜176が設けられる。フライバ端177、178、179は斜めカット面を有している。この図では斜めカット面が回転りにどの方向を向いているか、実際にはカット面が回転りにどの方向を向いても良いのである。回底方向を備えないで取り付けるから傾斜面177〜179の向きはランダムである。PDの信号を増幅したり処理したりするための素子183〜191がPDの直後に設けられる。フライバ端、PDチップは透光性樹脂180〜182によって覆われている。

【0097】 【実施例17】 (複数光フライバ・PDフレイ・AMP) 本発明は複数の光フライバとPDフレイを組み合わせた結合型受光モジュールにも適用できる。図38にこれを示す。基板192は、複数の平行なV溝193〜197をもつ。V溝にはそれぞれ光フライバ198〜202が埋め込んで固定してある。光フライバの端面は斜めカットしている。この図では方向が揃っているように描かれているが、実際には揃えていないので傾斜方向はバラバラである。基板192の上にはPDフレイ203が設けられる。裏面入射型のPDを纏めて一つの素子としたものである。増幅器やその他の信号処理回路205〜207がPDフレイの背後に設けられる。フライバ端、PDフレイの前片面は透光性樹脂204によって覆われている。基板上にはフレイパターンが描かれているが図示を省略している。

【0098】

【発明の効果】 本発明は、光フライバ・導波路端面を斜め切断し端面を光フライバ屈折率に近似した屈折率をもつ透光性樹脂によって包囲している。端面傾斜と透光性樹脂により結合効率を下げることなく反射戻り光をほぼ完全に消滅させることができる。従来のものよりも反射係数(ORL)を著しく下げることができる。より厳しく反射戻り光が著しとされる用途に利用することができる。ORLに対する要求が将来的により強くなるが、それに巧みに対応できる。より高い周波数の信号処理に利用することができる。

【0099】 端面傾斜にも拘らず透光性樹脂が屈折角を減少させるので屈折率は不要である。パッキング材がメンが可能であるから低価格の光学部品を提供することができる。さらに表面実装型に適用でき、光学部品の小型化にも効果的である。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来例にかかる表面実装型の光受信モジュール

の平面図。

【図2】従来例にかかる表面実装型+透光性樹脂散布の断面図。

【図3】従来例にかかる表面実装+透光性樹脂散布の光受信モジュールの平面図。

【図4】従来例にかかる表面実装+透光性樹脂散布の光受信モジュールの断面図。

【図5】図3、4の光受信モジュールにおいて透光性樹脂としてフッ素樹脂、シリコン系樹脂を塗布した時の、温度変化による反射係数(ORL)を示すグラフ。

【図6】本発明の実施例にかかる表面実装型光受信モジュールの平面図。

【図7】本発明の実施例にかかる表面実装型光受信モジュールの断面図。

【図8】従来例にかかる傾斜板型体型の光受信モジュールの断面図。

【図9】本発明の実施例にかかる光フライバから出射されたビームの屈折を説明する断面図。

【図10】フライバ外部傾斜の屈折率 n をパラメータとしたフライバ傾斜角と反射減衰量(ORL)の関係を示すグラフ。

【図11】LDチップと光フライバ直交端面を対向させた従来例にかかるレーザモジュールの概略平面図。

【図12】反射戻り光のために、レーザの駆動電流、発光出力関係が直線からずれて折れ曲がり点が生ずることを説明するグラフ。

【図13】レーザは複数の素子モードをもち反射戻り光のために最も優越するモードが交代することを説明する縦モード図。

【図14】透光性樹脂をLDと光フライバの間に介在させて戻り光を減らすようにした従来例にかかるレーザモジュールの概略平面図。

【図15】透光性樹脂をLDと光フライバの間に介在させ、かつ光フライバ端面を斜めに切断して戻り光を消滅させた本発明にかかるレーザモジュールの概略平面図。

【図16】本発明の実施例にかかる裏面入射型受光素子モジュールの一部平面図(実施例3)。

【図17】本発明の実施例にかかる裏面入射型受光素子モジュールの一部断面図(実施例3)。

【図18】本発明の実施例にかかる上面入射型受光素子モジュールの一部平面図(実施例4)。

【図19】本発明の実施例にかかる側面入射型受光素子モジュールの一部断面図(実施例5)。

【図20】光フライバと共振腔による共振分離プリズムに本発明を適用した実施例の平面図(実施例6)。

【図21】光フライバ光軸に対して光学部品軸を傾けた実施例の概略平面図(実施例8)。

【図22】本発明の実施例にかかる平面導波路型光回路(PLC)の平面図(実施例9)。

【図23】レーザと斜めカットフタファイバを対向し透光性樹脂で覆った本発明の実施例にかかるレーザモジュールの概略平面図（実施例10）。

【図24】本発明の実施例にかかるレーザモジュールの縦断面図（実施例10）。

【図25】レーザと斜めカット光ファイバの間に透光性樹脂（屈折率 n_1 ）が存在するときのビームの進行を示す図。

【図26】レーザと斜めカット導波路を対向させた本発明の実施例にかかる表面実装型レーザモジュールの平面図（実施例11）。

【図27】レーザと斜めカット導波路を対向させた本発明の実施例にかかる表面実装型レーザモジュールの縦断面図（実施例11）。

【図28】面発光型LED、LEDに本発明を適用した実施例を示す縦断面図（実施例12）。

【図29】面発光型LED、LEDに本発明を適用した実施例を示す縦断面図（実施例13）。

【図30】分岐をもつ光送受信モジュールに本発明を適用した実施例を示す平面図（実施例14）。

【図31】Si基板上に形成した光受信モジュールに本発明を適用した実施例の基板配置を示す斜視図（実施例15）。

【図32】実施例15のフタファイバ端とPDの部分のみの断面図。

【図33】実施例15の全体を樹脂モールドした状態の全体斜視図。

【図34】実施例15の受光素子直前を示す断面図。

【図35】実施例15の中央縦断面図。

【図36】実施例15のフタファイバを含む断面図。

【図37】複数のフタファイバ、受光素子対を有する実施例の平面図（実施例16）。

【図38】複数のフタファイバと、受光素子群を内蔵する受光素子アレイよりなる実施例の平面図（実施例17）。

【図39】フタファイバ・PD間が空気である場合において、フタファイバ・PD間の距離と、反射係数（ORL）の関係を示すグラフ。

【図40】フタファイバ・PD間に透光性樹脂を内蔵した場合において、フタファイバ・PD間距離をパラメータとして、フタファイバの切角傾斜角と反射係数（ORL）の関係を示すグラフ。

【符号の説明】

- 1 表面実装型受光モジュール
- 2 Siベンチ
- 3 上段
- 4 下段
- 5 PDチップ
- 6 V溝
- 7 V溝
- 8 フェルルール

61 下向き傾斜面

62 透光性樹脂

63 出射光

64 反射光

65 受光部

66 反射光

67 基板

68 PD

69 受光部

70 傾斜面

71 光ファイバ

72 透光性樹脂

73 反射光

74 波長分岐器

75 多層膜76 光ファイバ

77 光ファイバ

78 光ファイバ

79 傾斜面

80 傾斜面

81 傾斜面

83 反射光

84 光ファイバ

85 光学部品

86 透光性樹脂

87 反射光

88 反射光

89 基板

90 入力導波路

91 分岐導波路

113 上段

114 下段

115 導波路

116 端面

117 LD

118 透光性樹脂

119 受光部

120 出射光

121 反射光

122 伝導光

123 基板

124 面発光素子

125 発光部

126 凹部

127 光ファイバ

128 透光性樹脂

129 伝導光

130 端面

131 基板

132 面発光素子

133 発光部

134 凹部

135 レンズ

136 透光性樹脂

137 光ファイバ

138 端面

139 基板

140 導波路

141 分岐導波路

142 分岐導波路

143 統合導波路

144 LD

145 PD

146 光ファイバ

147~149 透光性樹脂

150 導波路端面

151 導波路端面

152 光ファイバ端面

153 Siベンチ

154 V溝

155 V溝

156 フェルルール

157 光ファイバ

158 PD

159 AMP

160 溝

161 端面

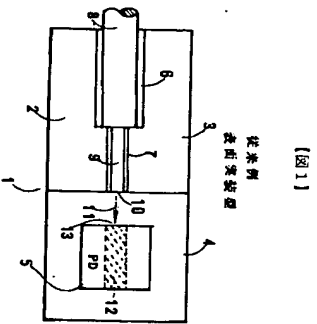
162 透光性樹脂

163 リードピン

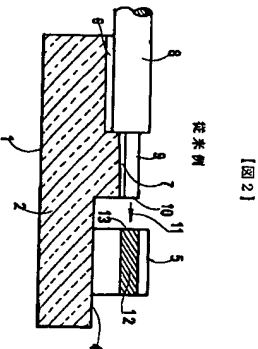
164 樹脂モールドパッケージ

165 固定樹脂
167 基板
168~170 V槽
171~173 光ファイバ
174~176 PD
177~179 端面
180~182 透光性樹脂
183~191 周辺回路素子

192 基板
193~197 V槽
198~202 光ファイバ
203 受光素子アレイ
204 透光性樹脂
205~207 周辺回路
208 コネクタ

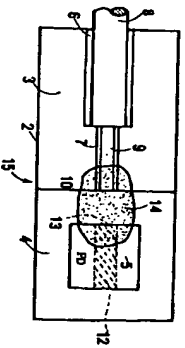


【図1】

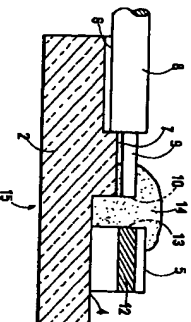


【図2】

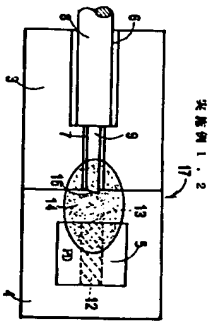
【図4】



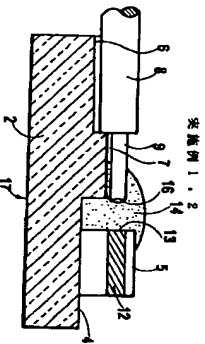
【図3】



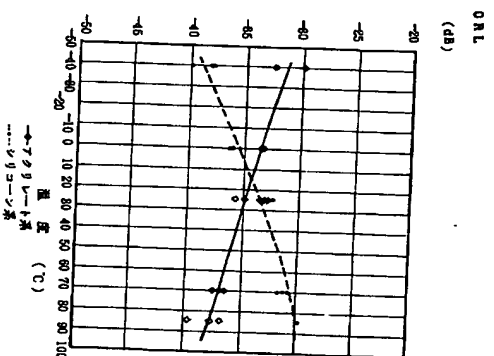
【図6】



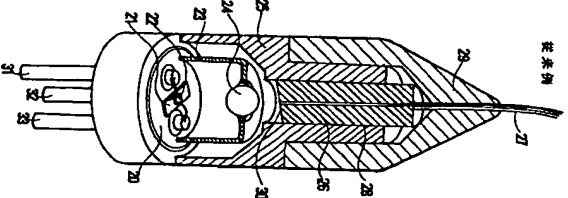
【図7】



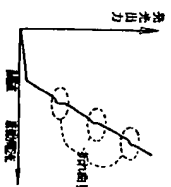
【図5】



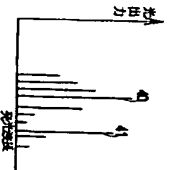
【図8】



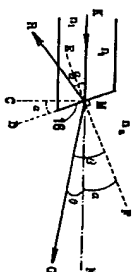
【図12】



【図13】

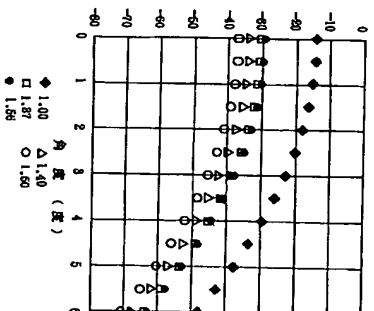


【図9】

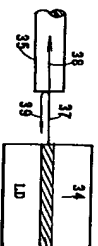


【図10】

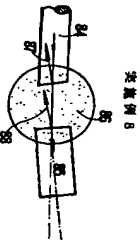
(dB) ファイバ端からの角度と反射率 (ORL)



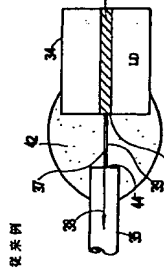
【図11】



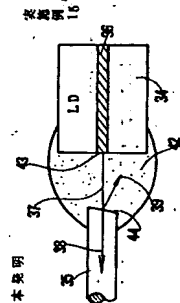
【図21】



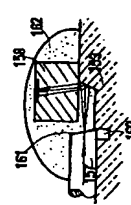
【図14】



【図15】



【図16】



導波路によって構成された部分を含む事を特徴とする請求項1～9の何れかに記載の光学装置。

【請求項11】 透光性樹脂がシリコーン系、若しくはアクリレート系であることを特徴とする請求項1～10の何れかに記載の光学装置。

【請求項12】 第1の光学部品が、外部の機構と密接可能な2度～8度の傾斜端面のファイバを有するフェルネルであって、S iベンチもしくはセラミック板のV溝に固定されており、第2の光学部品がLDあるいはLEDのいずれかの発光素子であってS iベンチもしくはセラミック板上に形成されたマウント部に固定され、第1の光学部品と第2の光学部品の間の光路がシリコーン系またはアクリレート系の透光性樹脂によって充たされ、さらにその上を非透光性の樹脂によって覆ったことを特徴とする請求項1に記載の光学装置。

【請求項13】 第1の光学部品が、外部の機構と密接可能な2度～8度の傾斜端面のファイバを有するフェルネルであって、S iベンチもしくはセラミック板のV溝に固定されており、第2の光学部品がPD、APDあるいはAMF付きPDのいずれかの受光素子であってS iベンチもしくはセラミック板上に形成されたマウント部に固定され、第1の光学部品と第2の光学部品の間の光路がシリコーン系またはアクリレート系の透光性樹脂によって充たされ、さらにその上を非透光性の樹脂によって覆ったことを特徴とする請求項1に記載の光学装置。

【請求項14】 第1の光学部品が、外部の機構と密接可能な2度～8度の傾斜端面のファイバを有するフェルネルであって、S iベンチもしくはセラミック板のV溝に固定されており、第2の光学部品がPD、APDあるいはAMF付きPDのいずれかの受光素子とLDあるいはLEDのいずれかの発光素子とであってS iベンチもしくはセラミック板上に形成されたマウント部に固定され、第1の光学部品と第2の光学部品の間の光路がシリコーン系またはアクリレート系の透光性樹脂によって充たされ、さらにその上を非透光性の樹脂によって覆ったことを特徴とする請求項1に記載の光学装置。

【請求項15】 第1の光学部品が複数の光ファイバあるいは複数の光導波路よりなり、第2の光学部品がそれらに光ファイバあるいは光導波路に対向して設けられる複数の受光素子あるいは発光素子よりなる事を特徴とする請求項1に記載の光学装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光通信に用いる送受信器、受信器、送受信器、これらを構成するための光学部品、あるいはこれらを組み合わせた光学装置に関する。特に反射減衰量（ORL）を著しく低減できる構造の光学部品に関する。

【0002】

【従来の技術】 光通信の実用化が進むにつれて、光送信

器、光受信器などの小型化、低コスト化が進みつつある。最近では表面実装型という非常に小型の光学装置が研究開発されている。例えば、

①西川透、稲葉雄一、東門元二、宇野智明、松井敏（S i基板を用いた表面実装型LDモジュール）1997年電子情報通信学会総合大会C-3-63、P.248
②佐々木純一、伊藤正隆、山崎裕幸、山口昌幸（パッシブアライン高効率光結合スプレッドサイト変換LD Siベンチ）1997年電子情報通信学会総合大会C-3-65、P.250
③平井あゆ美、加来良二、前沢卓也、高山清、原正（「光モジュール用シリコンV溝基板」）1997年電子情報通信学会総合大会C-3-66、P.251などに提案がなされている。

【0003】 受光モジュールの従来例を図1、図2に示す。この受光モジュール1は、2段になったS iベンチ2の上段3に光ファイバを、下段4に受光素子であるPD5を設けたものである。このPDは導波路型であって受光面が導波路型受光面12によって構成される。側面から入った光を導波路型受光面12によって感受する。S iベンチ2にはV溝6、7が異方性エッチングによって形成される。フェルネル8と光ファイバ9がV溝6、7に固定される。フェルネル8は光ファイバ9を包囲している。フェルネル8は外部の光学素子と密接できるようにしている。光ファイバ9の端面10は光軸に直角である。端面10から出た出射光11は空間を通りPD5の導波路型受光面12に入り検知される。光ファイバもPDも同一の基板表面上に取り付けられるので小型になる。側面密着がないので製造容易である。レンズがないのでコストを下げられる。だから小型受光器の受光モジュールとなりうる。

【0004】 図1、図2の従来例では、S iベンチ2の面上に光学部品（PD5、フェルネル8、光ファイバ9）を配置し、レンズは使わずに、直接光ファイバと受光素子（以下PDという）を突き合せている。これによって部品点数を減らすとともに小型化している。ここでは、光ファイバ9を記載しているが、代わりに光導波路でも良い。受光素子として導波路型PDを記載しているが、光学系によって上面入射型、裏面入射型PDが用いられる。

【0005】 S iベンチ上にエッチングによってV溝を形成し、またマスク合わせでPDチップを固定する位置合わせマークを形成する。V溝やマークにより光ファイバもPDも位置精度良く固定される。このように固定しないで予め定めた位置に部品を配置することをパッシブアライメントという。つまり図1、図2の表面実装型モジュールはパッシブアライメントが可能となり実装コストも下がる。部品コスト、実装コストを下げた後に製造できるという長所がある。ファイバ端面は光軸と直角であるが、これはパッシブアライメントを可能にするため

不可である。ファイバの出射光が斜めになるとPDに真っ直ぐ入らず偏芯しなけねばならなくなる。パッシブアライメントのためにファイバ端面光軸直角というのはアブリオリに要求される、と考えられた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、図1、図2の従来例の構成ではファイバ端面の反射が問題となる。ファイバ端面10は光の進行方向（光軸方向）と直交する面でカットされている。図にあらわれないが、光ファイバの端面には光源としてのLD（半導体レーザ）がつけられている。ファイバ端面は光軸に直交するから端面での反射光が光ファイバ内を反射方向に伝搬してレーザに戻りレーザ発振を不安定化させる。レーザはORL=10log（P_r/P_i）

【0009】 logは常用対数を示す。P_iはファイバを通して出射端面に向かって来る光強度である。P_rは端面で反射してファイバ内を戻って行く光強度である。単位はdBである。かならずP_r<P_iであるから、ORLは負の値となる。レーザに及ぼす影響を示す

$$R_{r,i} = \{(n_1 - n_2) / (n_1 + n_2)\}^2 \quad (2)$$

【0012】 である。図1、2のように、屈折率n₁=1.46のSiO₂系の光ファイバの場合、空気（n₂=1.00）に出射する時は、ORL=-14.6dBとなる。かなり大きな値である。つまり反射光が充分に強いということである。光ファイバと空気では屈折率がかなり相違するので、このような大きなORLの値となる。

【0013】 どの程度の小さいORLの値が要求されるのか？ということを知る。用途や規格はシステムによって様々である。それに伴って要求されるORLの値も異なる。高度なものほど小さいORLが要求される。製造のマーージンも含めると-30dB以下という極めて小さい値がORLに要求される。レーザは極めて微弱の反射光により動作が保たれるからである。

【0014】 さらに光CATVのような多チャネルのアナログ信号を伝送する場合は、-40dB以下という厳しい値が要求される。それもある程度で満足すればよいのでなく、-40℃～+85℃の広い温度範囲の全体でORLが-40dB以下でなければならないのである。

【0015】 図1、図2の構成（空気と接するのでORL=-14.6dB）ではこの要求を満たすことができない。図1、図2のように反射光の大きなものは用途に限られる。信号レートが低くチャネル数が少ないデジタル信号に限られる。だから図1、図2のものよりもORLをさらに減らす試みがなされてきた。

【0016】 端面での反射損失を減らすために、図3、図4のように光ファイバ9とPD5の間の空間を光ファイバに近似した屈折率の透光性の樹脂14によって満た

端面の反射線を共振器とするが、反射光が戻ると共振器が二つ存在することになり発振周波数が変動する。光源がレーザである場合、常に反射戻り光が問題になる。レーザ発振が安定であるためには反射戻り光を極めて小さく抑える必要がある。PDの受光面は反射防止膜が形成されるので反射はなく問題にならない。ファイバ端面は反射防止膜を付けないので反射が深刻な問題を引き起こす。本発明ではファイバ端面で反射しレーザに戻る光を問題にする。

$$(dB) \quad (1)$$

【0007】 ファイバの端面で反射し戻ってゆく光を反射戻り光という。入力光と反射戻り光のパワー（電力）の比を反射減衰量と呼びORLによって表現する。

【0008】

【0010】 屈折率n₁の媒質から、屈折率n₂の媒質に直角に入るとき界面での反射率R_{r,i}は、

【0011】

$$(2)$$

す（ポッティング）ことが提案される。例えば、
④石井利昭、江口州志、吉田幸司、加藤登、福岡和之、石川忠明、「トランスフォーマー方式によるPigtail型光モジュールの試作」1997年電子情報通信学会総合大会C-3-62、P.247
⑤吉田幸司、加藤登、平高政明、結城文夫、立野公男、三浦敏雄「樹脂封止型LDモジュールの光結合特性」1997年電子情報通信学会総合大会C-3-68、P.253

⑥長谷川和義、久保田雅之、特許第2792722号「半導体発光装置」

などに記載がある。式（2）のように、屈折率の差（n₁-n₂）によって反射が生ずるので、屈折率差（n₁-n₂）を減らせば反射が減少する。電子部品のポッティング樹脂としてシリコーン系やアクリレート系の樹脂が良く用いられる。ポッティング樹脂の条件は、屈折率が光ファイバに近いことと透明性である。これらの樹脂は可視光に対して透明である。それだけでなく光通信で良く用いられる1.3μmや1.55μmなどの波長の光に対しても透明である。

【0017】 これら透光性樹脂は、屈折率が光ファイバの屈折率（1.46）に接近している。例えばシリコーン系透光樹脂は、室温でn=1.4程度である。アクリレート系透光樹脂は室温でn=1.5程度である。従って、室温の場合だけを考えると、アクリレート系樹脂も、シリコーン系樹脂もORLが-30dB以下だといふ条件を満たすことができる。図3、図4もパッシブアライメント（偏芯しない）で製造されるからファイバ端面は光軸直角である。

【0018】 何れの材料も屈折率に温度依存性がある。

存在する材料はいずれも上記の広い範囲（ $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ ）において条件を満たすことができない。図5は、アクリレート系樹脂（○）、シリコン系樹脂（●）の一例のORLの温度による変化を示すグラフである。傾斜は温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）、縦軸はORL（dB）である。アクリレート系、シリコン系といつてもいくつもの種類の樹脂がある。図5に示するのは一例である。アクリレート系では低温でORLが大きくなる。シリコン系では高温でORLが大きくなる。だから両方とも安定して -30 dB 以下という条件を満たすことは難しく、まして -40 dB 以下を満たすことはできない。

【0019】このように温度によってORLが変化するのは、温度によって屈折率が変化することである。図5で温度変化の傾向が相反するのは屈折率変化が相反するからではない。何れの樹脂でも温度上昇によって屈折率は低下する。シリコン系の場合、 $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ で、1.48から1.37まで屈折率が変わる。アクリレート系樹脂の場合、1.56から1.49まで屈折率が変わる。アクリル屈折率が1.46であるから、シリコン系では温度上昇とともに、屈折率が1.46から離れる傾向にあり、これがORLを上昇させる。アクリレート系では、温度上昇とともに屈折率が1.49に接近するので、ORLが減少するのである。このようにアクリル（石英）とは逆に屈折率をもつ樹脂は存在するが、必ず温度変化がありORLが温度によって変わる。アクリルの場合だけを説明したが、光導波路の場合でも同じような問題がある。シリコン導波路の場合も反射戻り光が光線のレーザに入ると発振が乱れて光学装置は振動作する。

【0020】図1、図2のような表面実装型の光学部品においては反射光を防ぐ手段として提案されたものは屈折率の近似した透光性樹脂をアクリル樹脂に散布するというもの（図3、図4）だけである。透光性樹脂は反射自体を減衰させるが温度変化による影響もあり完全でない。全温度範囲（ $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ ）で -30 dB 以下という条件はかろうじて満たしても、さらに全温度範囲で -40 dB 以下というような特長的な要求には充てることができない。

【0021】
【課題を解決するための手段】本発明は、アクリル、光導波路と、その他の光学部品を含む光学装置において、アクリル端面あるいは光導波路端面を斜めに切断し、端面近傍をアクリル屈折率の近似した透光性樹脂（がアクリル樹脂）によって覆う。アクリル、導波路はいずれも光軸を定義できる。光軸に対して直角でなく直角度より α に傾斜角を持った端面を作る。さらに端面を透光性樹脂で被覆する。

【0022】つまり斜め切断と樹脂被覆という2重の手段によって反射戻り光を防ぐようにしたことに本発明の特徴がある。アクリル端面、光導波路端面の切断角は

2度～10度程度である。より好ましくは2度～8度である。アクリル、光導波路端面を斜めにカットすると端面での反射光が最早伝導光とならず光頭へ戻らない。屈折率の近似した透光性樹脂によって端面を覆うと反射そのものが減少する。両者が相まって反射戻り光を著しく抑制することができ。

【0023】
【発明の実施の形態】本発明は各種光学装置に応用することができる。のちに色々な例を説明するが、理解を促めるため典型的な一例を示し本発明の特徴を浮き彫りにする。図6、図7に本発明の光学装置の一例（アクリル+導波路型PD）の概略を示す。S1ベンチ2を2段階にし、上段3に大小のV溝6、7を異方性エッチングによって設ける。ここにフェルル8とアクリル9とを固定する。フェルル8はアクリル9を同軸支持し外部機構と着脱可能にしたものである。アクリル9の端面16が傾斜面になっている。下段4に導波路型PD5を固定する。これはベンチによって位置に固定する。アクリルの端面を4度、6度、8度という固定角度（ α ）に斜めカットしたものをS1ベンチのV溝に固定し、ポテソソ樹脂14によって覆う。アクリルの先端だけを覆うのも良い、しかしより好ましくは、アクリル先端からPD受光面までを覆うようにする。

【0024】本発明は、透光性樹脂被覆に加えてアクリル（光導波路端）を斜めに切断することに眼目がある。表面実装においてアクリル傾斜め切断ということはいくらでも行われた事はない。提案された事もない。しかし、異なる傾斜角度ではそれはありふれたことであつた。アクリル傾斜端を斜めカットすることは、通常の立体型的光モジュールでは反射戻り光を防ぐために良く用いられる技術である。図8に通常用カンパウナージに收容された立体構造の受光素子の概略を示す。

【0025】円形のステム20の中心にサブマウント1を固定し、サブマウント1の上に上面入射型PD2を固定する。リドピン3、3とサブマウント、PDの電極とリドピン3、3をワイヤボンディングによって接続し、レンズ4を有するキャップ23をかぶせる。さらに円筒形のスリーブ25をキャップ23の上からステム20に取り付ける。アクリル27の先端を支持するフェルル26をスリーブ25の軸孔28に差し込む。アクリル、フェルルの先端は斜め切断面30となっている。スリーブ25の上にはベンドリミッタ29があり、アクリルの傾度の曲がりを防ぐ。アクリル端面が斜めであるからアクリルからの出射光は図8で左へ屈折する。アクリル直下にピームが到達するのではない。そこでスリーブをステム上で二次元的に動かしながらPD出力を調整し最大ピームになる点を探してスリーブをステムに対して固定する。これが横方向の調整である。さらにフェルル26を横方向に動かし、最大光量になる点を縦方向の調整が必要であ

る。このような斜めカットアクリルを有するものは調整が必須の工程になる。調整は時間がかかる難い作業である。

【0026】これは同軸型受光素子とも呼ばれる。光軸をほぼ中心として同心円状のものや同心円筒の部材からなっている。受光素子（PD）チップと光軸が直交する三次元的な構造で高価な構造である。これはアクリルの先端を例えば8度に斜めカットしてある。これはアクリル端面での反射光がレーザ（光源）に戻らない為の工夫にせられる。出射光は端面の方に曲がるので、この図では左にせられる。だからフェルルやPDチップはアクリル軸心の延長上にない。アクリル軸延長線とステム面の交点よりも左側にPDはずれている。この様な立体構造の場合、PDチップを付けてから、キャップの位置とスリーブの位置は二次元的に調整する。そのような調整作業があるから斜めカットアクリルを用いることができるのである。調整（アライメント）によってPDに最大のパワーが入射するようにアクリルの位置を決める。だから低いORLで高い感度を得られる。これはキャップ、スリーブ、フェルルなどをPDの受光量を見ながら三次元的に調整するのデテテアライメントという。時間のかかる調整があるのでは斜めカットということが軒される。調整が斜めカットを可能にするといふのもよい。

【0027】そのような製造調整に手間のかかる受光素子はコスト高になる。安価なシステムを構築することの妨げになる。やはり図1～図4のような単純で安価な平面実装型が望ましい。図1～図4のような表面実装型の場合調整という作業がない。調整がないのでパソソングアクリルという。アクリル、光軸からPDの軸をずらせるということはない。それで斜めカットという工夫が入る余地はない、と考えられた。表面（平面）実装では、PDの中心とアクリル中心は初めから合致するように作られる。斜めカットするとピームが斜めになるから表面実装型光学部品のPD中心には入らないと考えられる。そのような平面的な常識が平面（表面実装）型の場合の斜めカットの採用を難く禁止して来たのである。

【0028】しかし、本発明者はそうではないと思う。傾斜でない平面実装でも斜めカットは極めて有効である。透光性樹脂を併用する限り平面型でも斜め切断は有用なものである。その理由を述べよう。

【0029】角度の影響について図9を用いて説明する。アクリルの屈折率を n_1 、外部媒質の屈折率を n_2 とする。アクリルの光軸をKMNとする。出射面16の中心点がMである。出射面が光軸面交でなく、それより α だけ傾いている。DMC $=\alpha$ である。点Mにおいて面16に立てた法線をMFとする。これが光軸MNとなす角度は α である。アクリルの伝導光KMは屈折しLMという出射光になる。端面反射光はMRである。これが反射戻り光と言われるもので重要である。屈折は複雑であるが反射は単純である。反射戻り光の軸線

に対する傾き角は単純に 2α である。 $\angle KMR=2\alpha$ 。

【0030】屈折光の方はより複雑である。法線MFとMGのなす角度を β とする。光軸MGと光軸MNの角度を θ とす。 θ は光線の光軸からのずれの角である。 $\beta=\theta+\alpha$ である。スネルの法則から、

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (3)$$

$$\beta = \sin^{-1} (n_1 \sin \alpha / n_2) \quad (4)$$

$$\theta = \sin^{-1} (n_1 \sin \alpha / n_2) - \alpha \quad (5)$$

【0034】となる。 θ は出射光MGのアクリル光軸MNからのズレ角である。もし $n_1=n_2$ なら、ズレ角は0である。ズレ角 θ は、既知屈折率 n_1 、アクリル屈折率 n_2 に近しいとせよ、反的に既知屈折率 n_2 、アクリル屈折率 n_1 に近しいとせよズレ角 θ は大きくなる。

【0035】反射光の角度は単純（ $\angle KMR=2\alpha$ ）であるが、これが戻るか否かということはコフ・クラップの屈折率による。コフ屈折率を n_1 、クラップ屈折率を n_2 とすると、 $n_2 > n_1$ であるから全反射角 φ が定義できる。軸線となす角度が φ 以下ならそのピームはコフからクラップへ進入できず、軸線となす角度が φ 以上ならコフからクラップへピームが進入できるという角度が全反射角 φ である。

$$\cos \varphi = n_2 / n_1 \quad (6)$$

【0037】コフとクラップの屈折率は極めて近いから φ は小さな角である。ソングモードアクリルの場合はこれが極端に小さい。 $2\alpha < \varphi$ なら反射光は全反射して戻り光となる。しかし $2\alpha > \varphi$ なら反射光は全反射せず外部に漏れる。これを放射モードと呼ぶ。幾何光学的にいえばこのように単純であるが、実際にはピームの形状などもあり厳密には波動光学的に取り扱う必要がある。しかし反射光が戻り光になるかどうかというのは、単純に 2α と φ の大小だけで判断することができ。アクリル端面に少し傾斜を付けるだけで、 $2\alpha > \varphi$ とすることができる。こうすることによって反射戻り光を消滅させることができる。つまり α の下限は $\varphi/2 = \cos^{-1} (n_2 / n_1) / 2$ という単純な式になる。

【0038】ここでは α の下限は2度としているが、ソングモードアクリルの場合、 $\varphi/2$ は2度より低いので、2度以上の α は戻り光を消滅させる。反射の話は単純であるだけに、屈折の話の難に陥れてしまいがちである。つい省略してしまうが、それはいけない。ここでは反射光が戻り光になるかどうかの条件を簡単に説明した。本発明は第1に反射戻り光を問題にするからである。

【0039】例えば、アクリル $n_1=1.46$ から光が空気（ $n_2=1.00$ ）に対して出射されるときは4度カット（ $\alpha=4^{\circ}$ ）の場合光軸より1.85度

い屈折率の透光性樹脂にすれば屈折角が0に近くなり偏芯が必要になる。当業者であれば知識が深いだけに傾斜角＝偏芯必須という固定観念を打ち払うことは難しからう。

[0061]

[実施例] [実施例1 (導波路型PD)] 図6、図7に示す構成の受光モジュールを製作した。Siベンチ2の上段3にV溝6、7を穿ち、フェール8、光ファイバ9をV溝に固定する。下段4にPD5を設け、光ファイバ9とPD5の間には透光性樹脂14を付ける。光ファイバ端面16は斜めカットされる。この受光モジュール17は樹脂でモールドするが、その状態の図示は省略する。

[0062] ここで、1. 3μm光に対するシングルモードファイバ(SMF)の先端を2度の傾斜角にカットした。受光素子はInGaAs受光層とする導波路型PDである。シリコン系の透光性樹脂を光ファイバ・PD間にボツイングし熱硬化させた。ORL=-31dB~-35dBであった。感度は0.8A/Wであった。光ファイバ端面が直角に切断されており同じシリコン系透光性樹脂で被覆されている場合と感度はほとんど同じであった。

[0063] [実施例2 (導波路型PD)] 図6、図7に示す構成の受光モジュールを製作した。1. 3μm光に対するシングルモードファイバ(SMF)の先端を4度の傾斜角にカットした。受光素子はInGaAs受光層とする導波路型PDである。シリコン系の透光性樹脂を光ファイバ・PD間にボツイングし熱硬化させた。ORL=-43dB~-50dBである。感度は0.8A/Wであった。光ファイバ端面が直角に切断されており同じシリコン系透光性樹脂で被覆されている場合と感度はほとんど同じであった。

[0064] [実施例3 (裏面入射型PD)] 本発明は裏面入射型PDを用いた受光モジュールにも適用できる。図10、図17に一例を示す。Si基板45にV溝46を異方性エッチングによって形成する。光ファイバ47をV溝46に入れて固定する。基板45の上に裏面入射型のPD48を固定する。光ファイバ端面49は斜め切断されている。ファイバ端面49とPD48裏面46の間には透光性樹脂50が充填されている。V溝46の縁はミラー面52となっている。ファイバ端面から出た出射光51は、透光性樹脂50を通過し、ミラー面52で上方に反射され(53)、PD48の裏面から侵入し(54)、受光部55に入っている。

[0065] ここで、1. 3μm光に対するシングルモードファイバ(SMF)の先端を4度の傾斜角に切断した。受光素子はInGaAs受光層とする裏面入射型のPDで受光径は100μmである。PDとファイバの間にはシリコン系透光性樹脂をボツイングし熱硬化させた。ORL=-45dB~-50dBであった。

[0066] 裏面入射型PDは受光径が大きく取れるので実装のレイアンスが広い。±10μm程度もある。それで高感度を得やすい。本発明のように光ファイバ端面が斜めカットされていても受光面で光の位置ズレが殆ど無い。感度は約0.9A/Wと高い。これは光ファイバ端面が直角に切断されており同じシリコン系透光性樹脂でボツイングされている場合の感度とほぼ同じであった。

[0067] [実施例4 (上面入射型PD)] 本発明はもちろん上面入射型の受光モジュールにも適用することができる。その実施例を図18に示す。Si基板56に凹部57を形成する。凹部57の一方の側面は下向きの傾斜面となっている。図部58に斜め切断ファイバ59を乗せて固定する。凹部57の底に上面入射型PD60を固定する。凹部の全体を透光性樹脂62によって覆う。光ファイバ59から出た光63は透光性樹脂62を通り、下向き傾斜面61に当たり下向き反射光64となりPD60の受光部65に入射する。ファイバ端面が斜めであるから端面反射光66は光ファイバの屈折光にならない。効果は実施例3の裏面入射型PDの場合と同じである。

[0068] [実施例5 (側面入射型PD)] 本発明は側面入射型のPDにも適用できる。図19によって説明する。基板67の上にPD68と光ファイバ71を固定するのであるが、同じ高さに固定できるので基板構造が単純化される。PD68の下半部が斜め傾斜面となっている。光ファイバ端面は斜め切断されている。光ファイバとPDとの間には透光性樹脂72が介在する。光ファイバ71の出射光は透光性樹脂72を通りPD68側面70から内部に入り受光部69に入射する。この場合もファイバ端面の反射光73が傾斜に対して大きい角度を持つので放射モードとなり伝播できない。効果は実施例3の裏面入射型PDの場合と同じである。

[0069] [実施例6 (プリズム波長分波器)] 本発明の適用範囲は広い。PD、LD以外にもさまざまな光学部品と、光ファイバ、導波路との結合に利用できる。波長分波器プリズムへの応用を図20によって説明する。波長分波器74は、三角柱型のプリズムの斜端面に誘電体多層膜75を積層して貼り合わせたものである。四角柱形状になるが、その3面に光ファイバ76、77、78を対向させてものである。

[0070] 光ファイバの端面79、80、81は傾斜に対して直角でない傾斜している。光ファイバに屈折率が近似した透光性樹脂82によって波長分波器と光ファイバ端面が包囲される。多層膜75が波長依存性をもつ。光ファイバ76から入る、入る光をプリズム波長分波器に入射する。λ₁は多層膜75で反射され、直交方向に光ファイバ77へ配分される。λ₂は多層膜75を透過して光ファイバ78に入る。光ファイバ端面が傾斜しているから反射光はもとの軌跡に戻る事はできない。例え

ば光ファイバ76の端面反射光83はすぐに減衰してしまう。

[0071] [実施例7 (反射防止膜)] PDその他の光学部品の表面には、光の波長と透光性樹脂の屈折率に対応した反射防止膜を設けておくのがよい。これまで、反射防止膜の事はことさ書いていないが、PD、光学部品の入力側端面に反射防止膜が設けられている。そのようにすればPD表面や、光学部品表面での反射は極めて減るから光源たるレーザに反らない。

[0072] 光ファイバ端面にも反射防止膜を付けることができる。例えば端面反射光が戻るといった問題も無くなるのである。すると本発明も不要ということになる。しかし光ファイバの端面に反射防止膜を付けるのは難しく実用的でない。だから本発明は斜めカットと透光性樹脂によって端面反射を極力抑制しようとするのである。

[0073] [実施例8 (半導体レーザ)] 次に半導体レーザに本発明を適用した場合の実施例を述べる。本発明は光ファイバ又は導波路の端面を斜めカットし、任意の光学部品と対向させ、少なくとも端面を透光性樹脂によって覆ったところと特徴がある。これは受光素子(PD)モジュールへの適用を述べたが、発光素子(LD)モジュールにも適用することができる。

[0074] 図21、図22に本発明をレーザ送信器に適用したものを示す。光ファイバ103の端面104が斜めカットしてある。基板105はこの光ファイバ103を固定し、LD106を逆さまに取り付ける。端面104とLD106の間には透光性樹脂110が塗布してある。発光部107(スリライア)から出たレーザ光108が端面104から光ファイバ103に入り伝播光(出力光)109になる。端面での反射光110が生ずるが、発光部には戻らない。LD106はInP系のMQW-LDである。その寸法は長さ300μm(L)、幅250μm(W)、厚み100μm(t)である。これはInP基板の上にInGaAsP系の発光部を設けたものである。発光部幅は1μm、厚みは0.2μmである。LD端面と光ファイバ端面の距離は70μm〜200μm程度に設定する。

[0075] 戻り光がないので、駆動電流と光出力との関係に乱れが生じたり、発光波長のスベリが二つに分かれるなどの不具合が無くなった。もちろん、外部から

つまり
[0084]
$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \{ n_s \sin \alpha / n_1 \}$$

$$\text{屈折光} / \text{KMG} = \theta = \alpha - \sin^{-1} \{ n_s \sin \alpha / n_1 \} \quad (13)$$

[0086] このような顕著な非対称性がある。図23に示すように、4度傾斜をもつ(α=4°)光ファイバであっても、光ファイバ内部での傾斜に対する傾斜角は、0.16度(θ=0.16°)に過ぎない。これは伝導モードとなり得る。0.16°<θ。だから端面傾斜は、光ファイバへの結合効率を減少させない。

らの光に対して、光ファイバ端面のものの反射は-40dB以下に抑えられている。

[0076] ただし外部から見た全体のORLは、LDの発光光の光ファイバへの結合効率で決まる。だから、LDの場合は、むしろLDの光が光ファイバ端面で反射して戻ってくるのをほぼ完全に抑制できるといふ点に本発明の効果があらわれる。すなわち、斜め切断により反射光を戻さず、透光性樹脂によって反射率を減らすという二つの作用を相乗的に利用しているのである。

[0077] LDの場合も斜めカットと樹脂を併用したものはなかった。どうしてか?ということを探ると、樹脂によって反射率が変わってしまい斜めカットの効果が減殺されると思われたのかも知れない。樹脂によって屈折角が減少するから反射角も減速すると認識されたものであろうか?あるいは樹脂によって反射を減らすだけで充分だと考えられたのかもしれない。要は本発明が低い場合はそれで良かったのである。本発明は斜め切断と透光性樹脂を併用して反射戻り光を完全に遮断できる。

[0078] 反射に4度〜8度も斜めカットすると光ファイバ内で傾斜に対して大きい角度をなすから放射モードになって伝播しにくいのではないかと懸念を持つ向きもある。しかし端面傾き角が光ファイバ中での傾き角でない。

[0079] 図23にピーム角の関係を示す。図9とよく似ているが、LDの向きが反対になる。レーザ・ファイバの傾斜はKMNである。ファイバ・レーザ間距離はLである。ファイバ端面傾斜角はαである。端面に立たた法線はMFである。その反対側の延長線をMEとす。LEMFは直線であり傾斜KMNとαの角度をなす。レーザ・LNMは光ファイバ端面で屈折してTMGとなる。屈折光MGと法線MEのなす角度がθである。屈折光MGと光軸MKの成す角度がφである。

$$[0080] \theta = \alpha - \gamma \quad (9)$$

[0081] である。端面反射光MQは、やはり2αの角度をなす。

$$[0082] \quad$$

$$n \sin \gamma = n_s \sin \alpha \quad (10)$$

$$[0083] \quad$$

$$[0084] \quad$$

$$\theta = \alpha - \sin^{-1} \{ n_s \sin \alpha / n_1 \} \quad (11)$$

$$\text{反射光} / \text{NMKG} = 2\alpha \quad (12)$$

$$[0085] \quad$$

$$[0087] \text{結合効率についてさらに詳しく述べよう。}$$

図36は直交端面(α=0)を持つ光ファイバとLDを対向させた時のLD・ファイバ間距離Lによる結合効率を示す。ファイバとLD間にはn₁=1.39の透光性樹脂で満たされていると仮定する。傾斜は距離L(μm)であり、傾斜は結合効率(dB)である。L=50μm

で-11.2dB程度、 $L=100\mu\text{m}$ で-13.1dB程度である。距離が増えると結合効率が減少する。これは当然でレーザからファイバコアを見込む立体角が減少するからである。

【0089】図37はファイバ端面を斜めカットしたときのカット角度(α)と結合効率の関係を示すグラフである。パラメータが距離 $L(\mu\text{m})$ になっている(図39との対応が分かりにくいが、図37の左軸(0.9)の距離をよんでゆき、これを右へ広げると図36になる。パラメータを距離としたのは取がある。10 μm 刻みで α と結合効率の関係は計算しているが、 L が0~100 μm のいずれにおいても、 α が増えれば結合効率が減少しない。例えば $L=100\mu\text{m}$ で、 $\alpha=0^\circ$ で-13.1dB程度、 $\alpha=10^\circ$ で-13.2dB程度である。

【0089】そのような結果は実は当業者の予想外のことなのである。ファイバを斜めカットすると当然に反射が増え、伝搬光が減るから結合効率が減るだろうと直観的には思われる。だからそのような結果はこれまでに存在しなかった。

【0090】手品の種は透光性樹脂にある。透光性樹脂があるので光ファイバ端面での反射が殆どない。ために殆ど光がファイバに入ってしまう。ただ入れば良いというものでない。先述のようにコア・クラッド間の界面で全反射しなければならない。幸いなことに屈折率 θ が極めて小さく、全反射角 θ より小さい($\theta < \theta_c$)のでファイバ入射光が全部伝搬光になるのである。つまり透光性樹脂は反射を減らすこと、屈折角を小さくすることによって結合効率を高めているのである。だから、業者の予想に反し、ファイバ端面傾斜があっても、高い結合効率を得ることができる。

【0091】【実施例9(半導体レーザ・光導波路)】図24、25によって半導体レーザと光導波路を結合する送信モジュールに本発明を適用した実施例11を述べている。Siベンチ112は上段113、下段114に分けられている。下段114には光導波路115が形成されている。先端面116は斜めカットされている。Si基板の上にSiO₂パッド層、Geを含むSiO₂、SiO₂パッド層を順にスパッタリングによって堆積させ、中央部の帯状部分を残してエッチングすると直線状の光導波路ができ、これを斜めに切った端面が斜めの導波路を得ることができる。上段113にはLD117を第1部119(ストライプ)が向きになるように固定する。導波路115とLD117の間は透光性樹脂118で覆う。LD117からの出射光120の一面は斜めに反射されるが、反射光121は発光部119に底らない。レーザ発振は安定で周波数安定性も良い。反射は微動で殆ど伝搬光122になる。

【0092】【実施例10(面発光型LD、LED)】これまで述べたものは端面発光型のLDであった。本

明は面発光型のLD、LEDにも適用することができ、図26によって説明する。基板123の上には面発光型発光素子124を取り付ける。発光素子124は中央に第1部125を有し上方に光を出す。上方は凹面126になっている。発光素子124と直上に光ファイバ127が重なる。端面130は斜め傾斜されている。光ファイバ端面と発光素子124の面とは透光性樹脂128によって固められる。透光性樹脂128は光ファイバに近接した屈折率を持つ。発光素子からの光は端面130から光ファイバに入り伝搬光129になる。反射光は端面125であり発光部125に戻らない。特に面発光LDに適用した場合にその効果が顕著である。

【0093】【実施例11(面発光型LD、LED)】図27は面発光型発光素子に適用したもう一つの実施例を示す。基板131の上には、面発光型発光素子132を設ける。発光部133は上方に光を出す。凹面134には発光素子135が固定される。その上方に光ファイバ137が設けられる。

【0094】透光性樹脂136が発光素子132、レンズ135、光ファイバ端面138を覆っている。これも反射光を微動にし、斜めに戻す作用がある。だから反射光は発光部に逆戻りしない。レンズを入ると集光性が高まるのでLEDの場合により効果的である。もともとLEDの場合は反射戻り光は問題にならないので結合効率を高めてという作用の方が大きい。

【0095】【実施例12(PIN-AMP)】本発明は前置増幅器(AMP)を有する受光モジュールにも適用することができる。図28~図33によってPIN-AMPの実施例を説明する。Siベンチ153の上には数段の構造物とV溝などをエッチングによって形成する。Siベンチ153の縦方向中心線に大きいV溝154と小さいV溝155を設ける。フェール156と光ファイバ157をV溝154、155に埋め込み固定する。光ファイバ先端は斜め切断されている。切断方向がいずれを向くかというのは自由である。ファイバの先に端面入射型PD158が固定される。その背後に前置増幅器(AMP)159を設ける。Siベンチにはメタライズ配線が印刷されコンデンサチップなども取り付けられる。ワイヤボンディングによって素子の電極パッド間を接続する。Siベンチの電極パターンはリードフレームにワイヤによって接続される。横方向のPD160は光ファイバ端面の位置決めになる。ファイバ端面とPD160とは透光性樹脂162によって覆われている。その上にはファイバ端面の位置決めになる。ファイバ端面とPD160は透光性樹脂165で覆う。さらに全体をモールド樹脂164によって被覆しパッケージとする。図30に示すようなプラスチックパッケージの素子となる。フェールが突き出ているが、これは光入力端となる。図29のようにファイバ端面から出た光はV溝の一面で上方に反射されPDの裏面から入射し受光部になる。

の縦断面図。

【図3】従来例にかかる表面装飾+透光性樹脂層発布の光受信モジュールの平面図。

【図4】従来例にかかる表面装飾+透光性樹脂層発布の光受信モジュールの縦断面図。

【図5】図3、4の光受信モジュールにおいて透光樹脂としてアクリレート系樹脂、シリコン系樹脂を塗布した時の、温度変化による反射減衰量(ORL)を示すグラフ。

【図6】本発明の実施例にかかる表面装飾型光受信モジュールの平面図。

【図7】本発明の実施例にかかる表面装飾型光受信モジュールの縦断面図。

【図8】従来例にかかる軸対称立体型の光受信モジュールの縦断面図。

【図9】斜め切断端面を有する光ファイバから出射されたビームの屈折を説明する線図。

【図10】ファイバ外部装飾の屈折率 n_0 をパラメータとしたファイバ端面切断角と反射減衰量(ORL)の関係を示すグラフ。

【図11】LDチップと光ファイバ端面を対向させた従来例にかかるレーザモジュールの概略平面図。

【図12】反射戻り光のために、レーザの駆動電流・発光出力関係が直線から折れ曲がって折れ曲がりが発生することを説明するグラフ。

【図13】レーザは複数の波モードをもち反射戻り光のために最も優越するモードが交代することを説明する線モード図。

【図14】透光性樹脂をLDと光ファイバの間に介在させて戻り光を減らすようにした従来例にかかるレーザモジュールの概略平面図。

【図15】透光性樹脂をLDと光ファイバの間に介在させ、かつ光ファイバ端面を斜めに切断して戻り光を消滅させた本発明にかかるレーザモジュールの概略平面図。

【図16】本発明の実施例にかかる裏面入射型受光素子モジュールの一部平面図(実施例3)。

【図17】本発明の実施例にかかる裏面入射型受光素子モジュールの一部縦断面図(実施例3)。

【図18】本発明の実施例にかかる上面入射型受光素子モジュールの一部平面図(実施例4)。

【図19】本発明の実施例にかかる側面入射型受光素子モジュールの一部縦断面図(実施例5)。

【図20】光ファイバと多層膜による波長分離プリズムに本発明を適用した実施例の平面図(実施例6)。

【図21】レーザと斜めカットファイバを対向し透光性樹脂で覆った本発明の実施例にかかるレーザモジュールの概略平面図(実施例8)。

【図22】本発明の実施例にかかるレーザモジュールの縦断面図(実施例8)。

【図23】レーザと斜めカット光ファイバの間に透光性

樹脂 (屈折率 n_1) が存在するときのピームの進行を示す図。

【図24】レーザと斜めカット導波路を対向させた本発明の実施例にかかる波面実装型レーザモジュールの平面図 (実施例9)。

【図25】レーザと斜めカット導波路を対向させた本発明の実施例にかかる波面実装型レーザモジュールの縦断面図 (実施例9)。

【図26】面発光型LD、LEDに本発明を適用した実施例を示す縦断面図 (実施例10)。

【図27】面発光型LD、LEDに本発明を適用した実施例を示す縦断面図 (実施例11)。

【図28】Si基板上に形成した光受はモジュールに本発明を適用した実施例の基板配置を示す斜視図 (実施例12)。

【図29】実施例12のフレイバ端とPDの部分のみの断面図。

【図30】実施例12の全体を樹脂モールドした状態の全体斜視図。

【図31】実施例12の受光素子直前を示す断面図。

【図32】実施例12の中央縦断面図。

【図33】実施例12のフレイバを含む断面図。

【図34】複数のフレイバ・受光素子対を有する実施例の平面図 (実施例13)。

【図35】複数のフレイバと、受光素子群を内蔵する受光素子アレイよりなる実施例の平面図 (実施例14)。

【図36】フレイバ、PD間が空気である場合において、フレイバ・PD間の距離と、反射減衰量 (ORL) の関係を示すグラフ。

【図37】フレイバ・PD間に透光性樹脂を施した場合において、フレイバ・PD間距離をパラメータとして、フレイバ端面の切す傾斜角と反射減衰量 (ORL) の関係を示すグラフ。

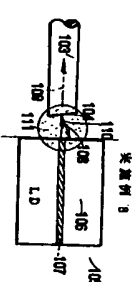
【符号の説明】

- 1 表面実装型受光モジュール
- 2 Siベンチ
- 3 上段
- 4 下段
- 5 PDチップ
- 6 V溝
- 7 V溝
- 8 フェルール
- 9 光フレイバ
- 10 フレイバ端面
- 11 出射光
- 12 受光部
- 13 PD端面
- 14 透光性樹脂
- 15 樹脂被布表面実装型受光モジュール
- 16 傾斜フレイバ端面

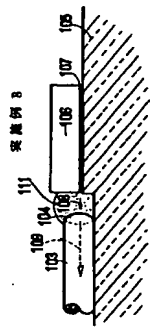
- 17 受光モジュール
- 20 ステア
- 21 サブアクリント
- 22 PD
- 23 キヤツツ
- 24 レンズ
- 25 スリット
- 26 フェルール
- 27 フレイバ
- 28 縦穴
- 29 ベンドリミット
- 30 端面
- 31 リードピン
- 32 リードピン
- 33 リードピン
- 34 LD
- 35 光フレイバ
- 36 発光部
- 37 出射光
- 38 出力光
- 39 反射鏡り光
- 40 主たる部光ビーク
- 41 サブビーク
- 42 透光性樹脂
- 43 LD端面
- 44 フレイバ端面
- 45 Si基板
- 46 V溝
- 47 光フレイバ
- 48 PD
- 49 フレイバ端面
- 50 透光性樹脂
- 51 出射光
- 52 ミラー面
- 53 反射光
- 54 PD入射光
- 55 受光部
- 56 Si基板
- 57 凹部
- 58 段部
- 59 光フレイバ
- 60 PD
- 61 下向き傾斜面
- 62 透光性樹脂
- 63 出射光
- 64 反射光
- 65 受光部
- 66 反射光
- 67 基板
- 68 PD

- 69 受光部
- 70 傾斜端面
- 71 光フレイバ
- 72 透光性樹脂
- 73 反射光
- 74 波長分波器
- 75 多層膜
- 76 光フレイバ
- 77 光フレイバ
- 78 光フレイバ
- 79 傾斜端面
- 80 傾斜端面
- 81 傾斜端面
- 83 反射光
- 103 光フレイバ
- 104 端面
- 105 基板
- 106 LD
- 107 発光部
- 108 入射光
- 109 傾斜光
- 110 反射光
- 111 透光性樹脂
- 112 Siベンチ
- 113 上段
- 114 下段
- 115 導波路
- 116 端面
- 117 LD
- 118 透光性樹脂
- 119 発光部
- 120 出射光
- 121 反射光
- 122 伝搬光
- 123 基板
- 124 面発光素子
- 125 発光部
- 126 凹部
- 127 光フレイバ
- 128 透光性樹脂
- 129 伝搬光
- 130 端面
- 131 基板
- 132 面発光素子
- 133 発光部
- 134 凹部
- 135 レンズ
- 136 透光性樹脂
- 137 光フレイバ
- 138 端面

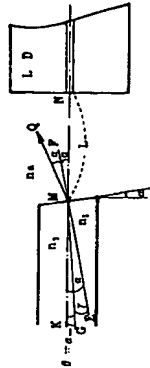
- 153 Siベンチ
- 154 V溝
- 155 フェルール
- 156 フェルール
- 157 光フレイバ
- 158 PD
- 159 AMP
- 160 溝
- 161 端面
- 162 透光性樹脂
- 163 リードピン
- 164 樹脂モールドパッケージ
- 165 固定樹脂
- 167 基板
- 168~170 V溝
- 171~173 光フレイバ
- 174~176 PD
- 177~179 端面
- 180~182 透光性樹脂
- 183~191 周辺回路素子
- 192 基板
- 193~197 V溝
- 198~202 光フレイバ
- 203 受光素子アレイ
- 204 透光性樹脂
- 205~207 周辺回路
- 208 コネクタ
- 【手続補正2】
- 【補正対象書類名】図面
- 【補正対象項目名】図21
- 【補正方法】変更
- 【補正内容】
- 【図21】



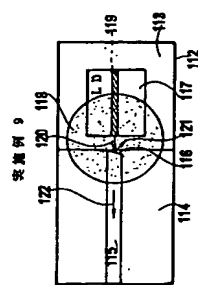
- 【手続補正3】
- 【補正対象書類名】図面
- 【補正対象項目名】図22
- 【補正方法】変更
- 【補正内容】
- 【図22】



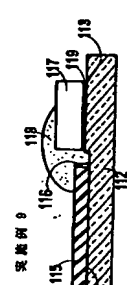
【手続補正 4】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図 23
【補正方法】変更
【補正内容】
【図 23】



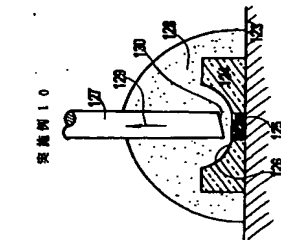
【手続補正 5】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図 24
【補正方法】変更
【補正内容】
【図 24】



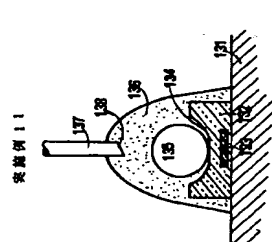
【手続補正 6】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図 25
【補正方法】変更
【補正内容】
【図 25】



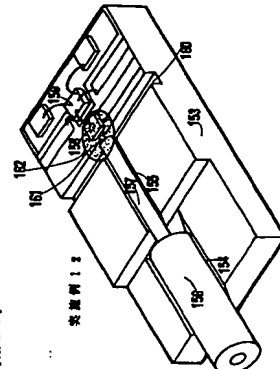
【手続補正 7】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図 26
【補正方法】変更
【補正内容】



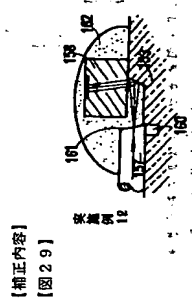
【手続補正 8】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図 27
【補正方法】変更
【補正内容】
【図 27】



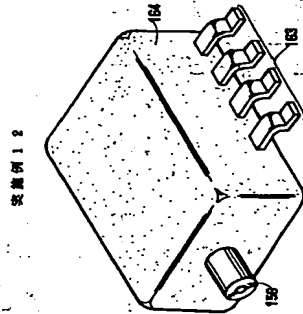
【手続補正 9】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図 28
【補正方法】変更
【補正内容】
【図 28】



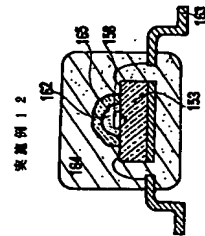
【手続補正 10】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図 29
【補正方法】変更



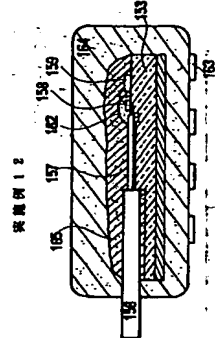
【手続補正 11】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図 30
【補正方法】変更
【補正内容】
【図 30】



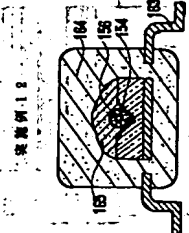
【手続補正 12】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図 31
【補正方法】変更
【補正内容】
【図 31】



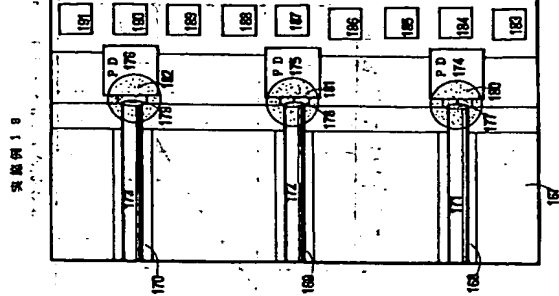
【手続補正 13】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図 32
【補正方法】変更
【補正内容】
【図 32】



【手続補正 14】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図 33
【補正方法】変更
【補正内容】
【図 33】

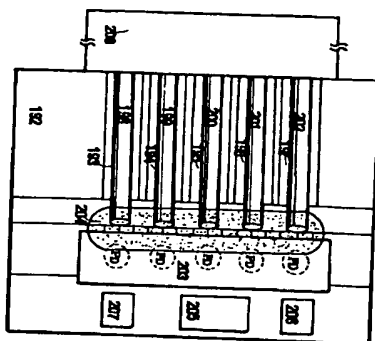


【手続補正 15】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図 34
【補正方法】変更
【補正内容】
【図 34】

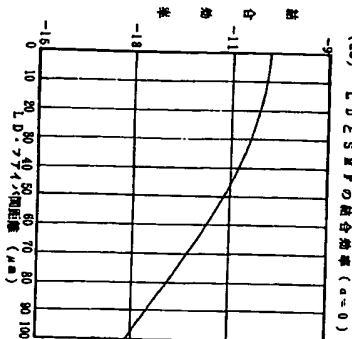


【手続補正16】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図35
【補正方法】変更
【補正内容】
図35)

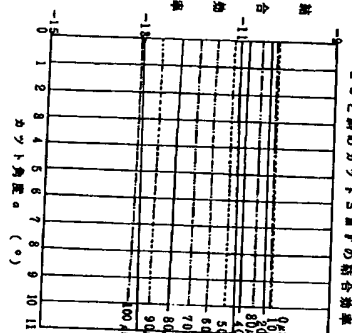
実例14



【手続補正17】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図36
【補正方法】変更
【補正内容】
図36)



【手続補正18】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図37
【補正方法】変更
【補正内容】
図37)



【手続補正19】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図38
【補正方法】削除
【手続補正20】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図39
【補正方法】削除
【手続補正21】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図40
【補正方法】削除

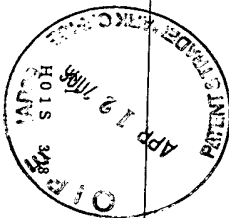
(72) 発明者 岡田 敬
大阪府大阪市北区烏丸一丁目1番3号住
友電機工業株式会社大阪製作所内

Fターム(参考) 2H037 MA01 BA02 BA11 CA10 DA03
DA04 DA06 DA16
SF041 MA06 MA09 DA43 ED01 ED08
FP14
SF049 MA01 MA02 NB01 TA14 MA01
SF073 AB16 BA02 EA03 EA15

フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷
H01S 5/022

識別記号



612
フロント(参考)